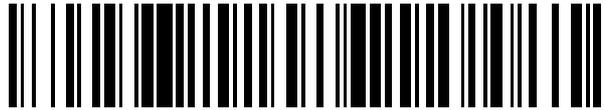


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 449 386**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2008 E 08868743 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2014 EP 2227847**

54 Título: **Procedimiento para controlar una tensión de red**

30 Prioridad:

**28.12.2007 DK 200701882**

**28.12.2007 US 9599 P**

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

**19.03.2014**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**HEDEAGER 44**

**8200 AARHUS, DK**

72 Inventor/es:

**BECH, JOHN;**

**NIELSEN, PETER y**

**KJÆR, PHILIP, CARNE**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 449 386 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 controlar una tensión de red

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de una tensión de red para centrales de energía eólica. En concreto, la presente invención se refiere a procedimientos de control en los que un cambio en una cantidad de energía eléctrica inyectada en una red de suministro de energía cambia el nivel de tensión de red. Dependiendo de las características de la red la energía eléctrica inyectada puede ser una potencia activa o reactiva.

**Antecedentes de la invención**

10 Las demandas de código de red para redes de suministro de energía se hacen más y más estrictas. Estas demandas de código de red mayores requieren rendimientos mayores de las centrales de energía eólica conectadas eléctricamente a tales redes de suministro de energía. El documento EP1841037 divulga un procedimiento para controlar la tensión de una red de suministro de energía conectada a un parque eólico, en el que la impedancia de cortocircuito se determina en el punto de acoplamiento común. El documento US 4.916.377 divulga un procedimiento de control de tensión en el que la tensión se controla en base a la impedancia de cortocircuito en el extremo de carga.

15 Se puede ver como un objeto de modos de realización de la presente invención proporcionar un procedimiento para el control adaptativo de la tensión de red con el fin de satisfacer demandas de código de red estrictas.

**Descripción de la invención**

20 El objeto anteriormente mencionado se satisface con el procedimiento para controlar un nivel de tensión de una red de suministro y el procedimiento para determinar una ganancia de proceso del controlador de tensión de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 11 respectivamente.

Así pues, de acuerdo con primer aspecto de la presente invención, una tensión de red de una red de suministro de energía puede controlarse variando una cantidad de potencia eléctrica, activa o reactiva, inyectada en tal red de suministro de energía. El control de la tensión de red utilizando potencia activa puede ser de particular relevancia en conexión con redes de energía débiles o aisladas.

25 Diversas ventajas se asocian con la presente invención. En primer lugar, se pueden satisfacer demandas de código de red muy estrictas. Además, las centrales de energía eólica pueden ser operadas en redes de suministro de energía más débiles si se aplica el principio de la presente invención. Una central de energía eólica se define como un grupo de al menos dos turbinas eólicas que tienen una salida eléctrica común a través de la que se puede inyectar potencia activa o reactiva en una red de suministro de energía asociada.

30 Además, con la presente invención se asocian ventajas tales como

- respuesta dinámica rápida independiente de la configuración real de red,
- mínimo exceso de tensión,
- rendimiento de control aperiódico de la totalidad de las centrales de energía eólica, y
- controladores adaptativos para asegurar un rendimiento similar independientemente de las condiciones de red.

35 De acuerdo con el procedimiento del primer aspecto de la presente invención la etapa de controlar el nivel de tensión de red puede comprender la etapa de calcular una cantidad de energía eléctrica que va a ser inyectada en la red de suministro de energía desde la fuente de energía eléctrica de acuerdo con el primer valor de ganancia calculado de la red de suministro de energía. Tras esto, se puede proporcionar una etapa de inyectar la cantidad de energía eléctrica calculada, procedente de la fuente de energía eléctrica, en la red de suministro de energía con el fin de controlar consecuentemente el nivel de tensión de red.

40 Además, el procedimiento comprende también las etapas de:

- determinar una segunda impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía en el punto de acoplamiento común,
- calcular, utilizando la segunda impedancia de cortocircuito determinada, un segundo valor de ganancia de la red de suministro de energía y

45

– controlar el nivel de tensión de red de acuerdo con el segundo valor de ganancia calculado sustituyendo el primer valor de ganancia con el segundo valor de ganancia como el parámetro de ganancia en el controlador de tensión.

De nuevo, la etapa de controlar el nivel de tensión de red puede comprender la etapa de calcular una cantidad de energía eléctrica que va a ser inyectada en la red de suministro de energía desde la fuente de energía eléctrica de acuerdo con el segundo valor de ganancia calculado de la red de suministro de energía e inyectar, desde la fuente de energía eléctrica, la cantidad de energía eléctrica calculada en la red de suministro de energía con el fin de controlar consecuentemente el nivel de tensión de red.

Así pues, el parámetro de ganancia del controlador de tensión puede ser actualizado o ajustado a intervalos regulares determinando la impedancia de cortocircuito de la red de alimentación de energía a intervalos regulares similares. De este modo el parámetro de ganancia del controlador de tensión se ajusta de un modo adaptativo asegurando así que dicho parámetro de ganancia se corresponde con las características eléctricas de la red de suministro de energía.

Una ganancia de la red de suministro de energía se define típicamente como un cambio de tensión,  $\Delta V$ , por unidad de potencia eléctrica, MW o MVA<sub>r</sub>, inyectada en la red de suministro de energía.

El punto de acoplamiento común puede estar situado lo largo de una línea de transmisión que conecta la fuente de energía eléctrica y la red de suministro de energía. Típicamente, el punto de acoplamiento común se define como el punto en el que la fuente de energía eléctrica está conectada eléctricamente con la red de suministro de energía. El punto de acoplamiento común puede estar situado relativamente cerca de la central de energía eólica o puede estar situado en una posición alejada en relación a la central de energía eólica.

La etapa de determinar la impedancia de cortocircuito puede implicar mediciones de un nivel de tensión y de un nivel de corriente en el punto de acoplamiento común, en el que los niveles de tensión y corriente medidos son niveles de tensión y corriente asociados.

La fuente de energía eléctrica puede comprender una o más turbinas eólicas capaces de generar la energía eléctrica requerida. Alternativamente o además, la fuente de energía eléctrica puede comprender un STATCOM, condensadores conmutados, una instalación SVC o una combinación de los mismos.

Como se mencionó anteriormente la fuente de energía eléctrica puede comprender una fuente de energía activa de modo que la energía eléctrica inyectada en la red de suministro de energía con el fin de controlar el nivel de tensión de red comprende una potencia activa. El control de la tensión de red utilizando potencia activa es de particular relevancia en conexión con redes de suministro de energía débiles.

Alternativamente, u opcionalmente además, la fuente de energía eléctrica puede comprender una fuente de potencia reactiva de modo que la energía eléctrica inyectada en la red de suministro de energía con el fin de controlar el nivel de tensión de red comprende potencia reactiva.

De acuerdo con la presente invención la ganancia de la red de suministro de energía determinada en el punto de acoplamiento común se incorpora en el controlador de tensión. Se puede proporcionar opcionalmente un integrador para mejorar el rendimiento del estado estacionario. Utilizando conocimiento previo de la cantidad disponible de energía eléctrica, opcionalmente de un número de turbinas eólicas o de uno o más STATCOMs, la tensión de red puede ser controlada variando la cantidad de energía eléctrica inyectada en la red de suministro de energía. El procedimiento de acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención puede ser considerado una implementación fuera de línea de la presente invención ya que la ganancia del controlador de tensión se determina solo una vez, concretamente en la configuración del controlador de tensión.

El punto de acoplamiento común puede estar situado lo largo de una línea de transmisión que conecta la fuente de energía eléctrica y la red de suministro de energía.

La fuente de energía eléctrica puede comprender una fuente de potencia activa y/o una fuente de potencia reactiva.

Como se estableció en conexión con el primer aspecto de la presente invención, la etapa de determinar la impedancia de cortocircuito puede implicar mediciones de un nivel de tensión y un nivel de corriente en el punto de acoplamiento común, en el que dichos niveles de tensión y corriente medidos se asocian con niveles de tensión y corriente.

### Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá a continuación en mayor detalle con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la fig. 1 muestra una red de suministro de energía,

la fig. 2 muestra un diagrama de flujo simplificado, y

la fig. 3 muestra una respuesta escalón de un controlador de tensión de alimentación directa de acuerdo con la presente invención.

- 5 Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado modos de realización específicos a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Se debe entender, sin embargo, que la invención no pretende estar limitada a las formas particulares divulgadas. Antes bien, la invención cubrirá todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caigan dentro del espíritu y el ámbito de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

### Descripción detallada de los dibujos

- 10 En su aspecto más amplio la presente invención se refiere a un procedimiento para establecer uno o más parámetros de control adecuados para un controlador de tensión con el fin de controlar una tensión de red de una red de alimentación de energía conectada funcionalmente con una fuente de energía eléctrica. La fuente de energía eléctrica puede ser una fuente de potencia reactiva o una fuente de potencia activa.

- 15 En lo que sigue, la presente invención se divulgará con referencia a un modo de realización que implica la inyección de potencia reactiva en una red de suministro de energía con el fin de controlar la tensión de red de la red de suministro de energía. Sin embargo, la presente invención cubre asimismo la inyección de potencia activa en por ejemplo redes de suministro de energía débiles a los efectos de controlar la tensión de red de tales redes de suministro de energía débiles.

- 20 La fuente de energía eléctrica puede implicar turbinas eólicas u otras fuentes adecuadas, tales como un STATCOM, condensadores conmutados o instalaciones SVC. En concreto, la presente invención se refiere a un procedimiento para determinar un parámetro de ganancia de un controlador de tensión, determinándose dicho parámetro de ganancia usando conocimiento de una impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía en un punto de acoplamiento común. Así pues, la ganancia de la red de suministro de energía en el punto de acoplamiento común se incorpora en el controlador de tensión, opcionalmente en combinación con un integrador para mejorar el rendimiento del estado estacionario. La ganancia de la red de suministro de energía se determina a partir de la potencia de cortocircuito en combinación con el cociente X/R -siendo este último derivable de la impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía.

- 25 Utilizando conocimiento anterior de la cantidad de potencia reactiva disponible, opcionalmente de un número de turbinas eólicas o de uno o más STATCOM, la tensión de red puede ser controlada variando la cantidad de potencia reactiva inyectada en la red de suministro de energía. El procedimiento anteriormente mencionado puede ser considerado una implementación fuera de línea de la presente invención ya que la ganancia del controlador de tensión solo se determina una vez -en la configuración del controlador de tensión.

- 30 La presente invención puede ser implementada asimismo como una configuración en línea en la que la impedancia de cortocircuito y la ganancia de la red de suministro de energía se determinan a intervalos regulares. De nuevo, la ganancia de la red de suministro de energía se determina a partir de la potencia de cortocircuito en combinación con el cociente X/R -siendo este último derivable de la impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía. Así pues, la configuración en línea de la presente invención facilita la actualización continua de la ganancia del controlador de tensión. Esto es una gran ventaja si las condiciones de red cambian dramáticamente, por ejemplo si una parte o partes de la red de suministro de energía se caen, si hay una desconexión de las líneas de red o una reconfiguración de una red.

- 40 Los principios de la presente invención se describirán a continuación en mayor detalle. Cuando una central de energía eólica opera en un modo de control de tensión, la potencia reactiva de las turbinas eólicas se inyecta en una red de suministro de energía asociada en un punto de acoplamiento común (PCC) con el fin de controlar la tensión de red. El PCC es donde la central de energía eólica está conectada eléctricamente con la red de suministro de energía.

- 45 La denominada ganancia de la red de suministro de energía depende fuertemente de la impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía. La ganancia de la red de suministro de energía se define como un cambio de tensión por potencia activa (MVA<sub>r</sub>) inyectada en la red de suministro de energía.

- 50 La impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía se define como  $Z_g = R_g + jX_g = R_g + j2\pi fL$ , donde  $R_g$  y  $X_g$  son las partes real e imaginaria de la impedancia de red, respectivamente,  $j$  es el operador imaginario,  $f$  es la frecuencia (típicamente la frecuencia nominal de la red de suministro de energía) y  $L$  es la inductancia. La impedancia de cortocircuito se puede utilizar como la impedancia en un equivalente de Thevinin. La impedancia de cortocircuito variará por supuesto para armónicos de orden superior ya que  $L$  depende de la frecuencia.

Midiendo continuamente las tensiones y corrientes en el PCC la impedancia de cortocircuito de la red de suministro de

energía puede ser estimada y es posible por lo tanto una estimación en línea de los parámetros de red. Otras técnicas, tales como por ejemplo sistemas de medición de área extendida (WAMS) o unidad de medición de fase (PMU) son igualmente técnicas adecuadas para determinar la impedancia de cortocircuito.

5 Conociendo  $R$  y  $X$  de una red de suministro de energía, se puede realizar un cálculo inverso con el fin de estimar la ganancia del proceso de un controlador de tensión. Este conocimiento puede ser utilizado en un controlador de tensión como un factor de planificación de ganancia con el fin de mantener el rendimiento dinámico del sistema incluso aunque los parámetros de la red cambien, por ejemplo si una parte de la red de suministro de energía se cae.

10 Alternativamente, la impedancia de cortocircuito y la ganancia asociada de la red de suministro de energía pueden ser utilizadas para diseñar un controlador de alimentación directa que solicite la potencia reactiva necesaria para alcanzar una referencia de tensión de estado estacionario. Un integrador lento puede funcionar en paralelo a este controlador de alimentación directa para mejorar el rendimiento de estado estacionario.

15 En referencia a continuación a la fig. 1, se representa una red de suministro de energía 1 que incluye una central de energía eólica 2 y un número de consumidores de energía 3. La central de energía eólica puede ser capaz por ejemplo de producir energía eléctrica dentro del intervalo de 50-200 MW o superior. La central de energía eólica es capaz asimismo de suministrar potencia reactiva a la red de suministro de energía si la demanda lo requiere. Asimismo se proporciona una fuente de potencia reactiva adicional 4 en forma de un STATCOM. La capacidad del STATCOM puede ser por ejemplo de hasta 200 MW de potencia reactiva. Así pues, si el código de red de la red de suministro de energía requiere que la tensión de red deba ser aumentada se puede proporcionar potencia reactiva a la red desde la central de energía eólica, el STATCOM o ambos. Típicamente, el STATCOM será capaz de suministrar potencia reactiva a la red de suministro de energía con un periodo de aviso menor que la central de energía eólica. Así pues, un posible escenario podría ser aquel en el que se suministra potencia reactiva de un modo secuencial suministrando en primer lugar potencia reactiva procedente del STATCOM y en una etapa posterior, suministrando potencia reactiva de la central de energía eólica.

25 Como se estableció anteriormente la potencia reactiva de la central de energía eólica o del STATCOM se inyecta en una red de suministro de energía en el PCC. El PCC, marcado con el número de referencia 5 en la fig. 1, es donde la central de energía eólica se conecta eléctricamente a la red de suministro de energía. Opcionalmente, se puede proporcionar un transformador de red 6 entre las fuentes de potencia reactiva (central de energía eólica y STATCOM) y la red de suministro de energía.

30 Determinando  $R$  y  $X$  de la impedancia de cortocircuito en el PCC 5, se puede calcular la ganancia de la red de suministro de energía y aplicarla como un parámetro de ganancia de proceso en un controlador de tensión. Si la ganancia de la red de suministro de energía se determina a intervalos regulares y se actualiza la ganancia de proceso del controlador de tensión consecuentemente, se establece un bucle de control de tensión en línea y por lo tanto adaptativo. Preferiblemente, se proporciona un integrador con una constante de tiempo de 10-100 ms para mejorar el rendimiento de estado estacionario.

35 En referencia a continuación a la fig. 2 se representa un simple diagrama de flujo. Como se representa en la fig. 2, se determinan  $R$  y  $X$  del circuito equivalente de Thevinin de la red de suministro de energía. A partir de  $R$  y  $X$  se calcula la ganancia de la red de suministro de energía. La ganancia calculada se aplica como un parámetro de ganancia de proceso en un controlador de tensión.

El proceso ilustrado en la fig. 2 se realizará una vez, en una configuración fuera de línea de la presente invención. Así pues, la ganancia de proceso del controlador de tensión se determina su valor no cambiará.

40 En un modo de realización preferido de la presente invención la ganancia de proceso se ajusta de un modo adaptativo de modo que la ganancia de proceso del controlador de tensión siempre se corresponde con las características de la red de suministro de energía vista desde el PCC. Al configurar el controlador de tensión de un modo adaptativo se pueden seguir demandas de código de red estrictas.

45 La fig. 3 muestra una respuesta escalón de un controlador de tensión de alimentación directa de acuerdo con la presente invención. Como se observa la fig. 3, el controlador de alimentación directa produce un exceso mínimo. Esto es una mejora en el comportamiento dinámico en comparación con los sistemas de la técnica anterior.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para controlar un nivel de tensión de una red de alimentación de energía funcional conectada con una fuente de energía eléctrica (2, 4), comprendiendo el procedimiento las etapas de:
  - 5 – determinar una primera impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía en un punto de acoplamiento común (5),
  - calcular, utilizando la primera impedancia de cortocircuito determinada, un primer valor de ganancia de la red de suministro de energía,
  - controlar el nivel de tensión de red de acuerdo con el primer valor de ganancia calculado aplicando dicho primer valor de ganancia como un valor de ganancia en un controlador de tensión de modo que el parámetro de ganancia del controlador de tensión se corresponda con la primera impedancia de cortocircuito,
  - 10 – determinar una segunda impedancia de cortocircuito de la red de suministro de energía en el punto de acoplamiento común (5),
  - calcular, utilizando la segunda impedancia de cortocircuito determinada, un segundo valor de ganancia de la red de suministro de energía, y
  - 15 – controlar el nivel de tensión de red de acuerdo con el segundo valor de ganancia calculada de un modo adaptativo sustituyendo el primer valor de ganancia con el segundo valor de ganancia como el parámetro de ganancia en el controlador de tensión.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de controlar el nivel de tensión de red comprende la etapa de calcular una cantidad de energía eléctrica que va a ser inyectada en la red de suministro de energía desde la fuente de energía eléctrica de acuerdo con un valor de ganancia calculado de la red de suministro de energía e inyectar, desde la fuente de energía eléctrica, la cantidad de energía eléctrica calculada en la red de suministro de energía con el fin de controlar consecuentemente el nivel de tensión de red.
- 20 3. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una ganancia de la red de suministro de energía se define como un cambio de tensión,  $\Delta V$ , por unidad de energía eléctrica, MW o MVAR, inyectada en la red de suministro de energía.
- 25 4. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el punto de acoplamiento común se sitúa a lo largo de una línea de transmisión que conecta la fuente de energía eléctrica y la red de suministro de energía.
- 30 5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de determinar la impedancia de cortocircuito implica mediciones de un nivel de tensión y de un nivel de corriente en el punto de acoplamiento común.
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que los niveles de tensión y corriente medidos son niveles de tensión y corriente asociados.
- 35 7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de energía eléctrica comprende una o más turbinas eólicas capaces de generar energía eléctrica.
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de energía eléctrica comprende un STATCOM.
9. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de energía eléctrica comprende una fuente de potencia activa, y en el que la energía eléctrica inyectada en la red de suministro de energía con el fin de controlar el nivel de tensión de red comprende potencia activa.
- 40 10. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que la fuente de energía eléctrica comprende una fuente de potencia reactiva, y en el que la energía eléctrica inyectada en la red de suministro de energía con el fin de controlar el nivel de tensión de red comprende potencia reactiva.
- 45 11. Un procedimiento para determinar una ganancia de proceso de un controlador de tensión para controlar un nivel de tensión de una red de suministro de energía funcional conectada con una fuente de energía eléctrica (2, 4), comprendiendo el procedimiento las etapas de
  - determinar impedancias de cortocircuito de la red de suministro de energía a intervalos regulares en un punto de

acoplamiento común (5),

– calcular, utilizando las impedancias de cortocircuito determinadas, valores de ganancia de la red de suministro de energía, y aplicar dichos valores de ganancia como la ganancia de proceso del controlador de tensión de modo que el valor de ganancia del controlador de tensión se corresponda con la impedancia de cortocircuito de un modo adaptativo.

5 12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el punto de acoplamiento común se sitúa a lo largo de una línea de transmisión que conecta la fuente de energía eléctrica y la red de suministro de energía.

13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en el que la fuente de energía eléctrica comprende una fuente de potencia activa.

10 14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en el que la fuente de energía eléctrica comprende una fuente de potencia reactiva.

15. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-14, en el que la etapa de determinar una impedancia de cortocircuito implica mediciones de un nivel de tensión y un nivel de corriente en el punto de acoplamiento común.

15 16. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el que los niveles de tensión y corriente medidos son niveles de tensión y corriente asociados.

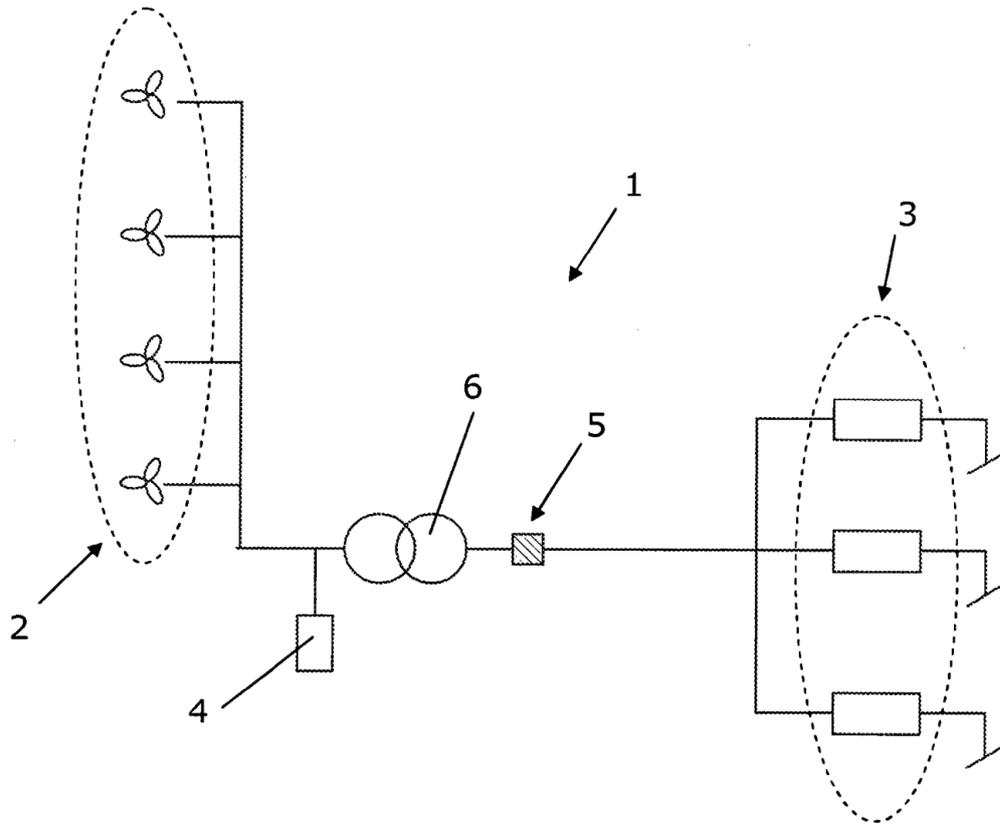


Figura 1

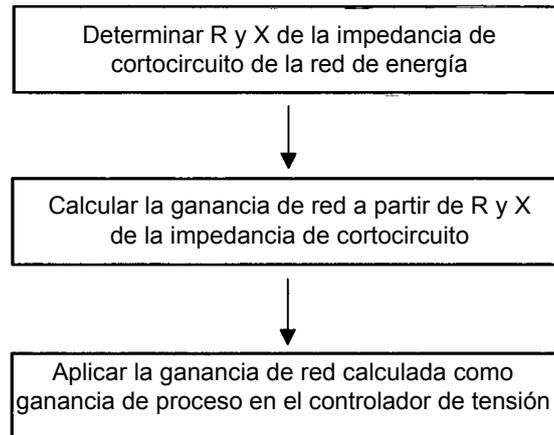


Figura 2

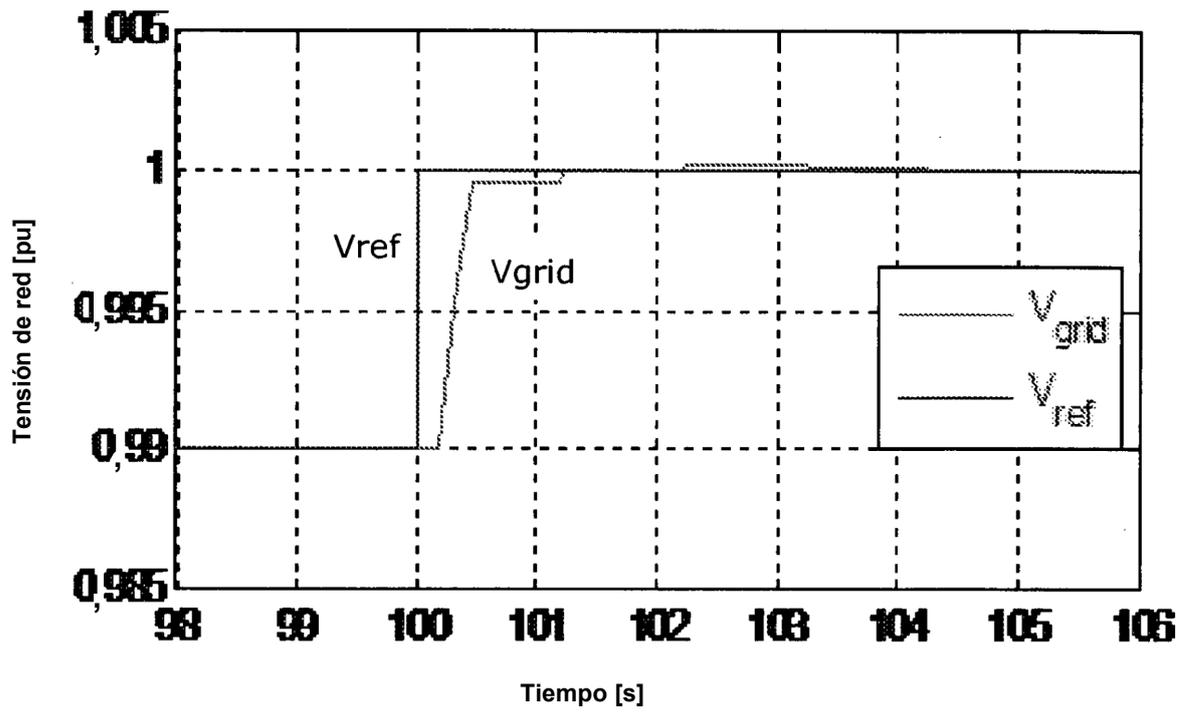


Figura 3