

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 568 618**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2011** **E 11722837 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.02.2016** **EP 2580836**

54 Título: **Instalación de energía eólica y procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

08.06.2010 DE 102010023038

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

03.05.2016

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

FORTMANN, JENS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 568 618 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

Instalación de energía eólica y procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica.

5 La invención concierne a una instalación de energía eólica y a un procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica. La instalación de energía eólica comprende un transformador. En el procedimiento se genera energía eléctrica con un generador y se la alimenta en varias fases a una red eléctrica. La energía eléctrica se alimenta con una baja tensión al lado secundario del transformador. En el lado primario del transformador se entrega la energía eléctrica con una tensión más alta. No está definido el potencial en el lado primario del transformador con respecto al potencial de tierra.

10 Los generadores de las instalaciones de energía eólica generan energía eólica con una baja tensión de, por ejemplo, 690 voltios. Con un transformador perteneciente a la instalación de energía eólica se lleva la energía eléctrica a una media tensión de, por ejemplo 10 kV, 20 kV o 30 kV y se la transfiere a una red de media tensión. A través de la red de media tensión se conduce la energía eléctrica a una central transformadora de un operador de red y se la transforma allí, para el ulterior transporte, en una tensión aún más alta de, por ejemplo, 400 kV (o bien 110 kV, 132 kV, 220 kV, 380 kV). Con el tamaño creciente de los parques eólicos y con la erección de los parques eólicos en lugares apartados (por ejemplo, parques eólicos marinos), la energía eléctrica es transmitida a lo largo de trayectos cada vez mayores en la red de media tensión.

15 En el lado primario del transformador no está definido el potencial con respecto a tierra. Por tanto, el propio lado primario no está puesto a tierra o en todo caso lo está de manera débil o con poco ohmiaje, y un punto de puesta a tierra eventualmente existente en la red de media tensión está tan alejada que, debido a capacidades, inductividades y resistencias de las líneas, el potencial en el lado primario del transformador puede desviarse del potencial en el punto de tierra. Si se produce ahora un defecto en la red de media tensión (por ejemplo, por un cortocircuito a tierra), puede ocurrir entonces que la información sobre el defecto no llegue inmediatamente a la instalación de energía eólica. La instalación de energía eólica seguiría entonces alimentando energía eléctrica con plena potencia, aun cuando posiblemente la red de media tensión no esté ya en absoluto en condiciones de entregar nuevamente la energía eléctrica al otro lado. En tal caso, sufrirían daños los cables en la red de media tensión dentro de un espacio de tiempo muy breve. Las reparaciones en los cables de la red de media tensión son complicadas y caras.

20 Partiendo de este estado de la técnica, la invención se basa en el problema de presentar una instalación de energía eólica y un procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica, con los cuales se aminore el riesgo de daños en la red de media tensión. El problema se resuelve con las características de las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones subordinadas se encuentran formas de realización ventajosas.

25 Según la invención, en el procedimiento se registra un valor de medida de la tensión que se aplica entre el lado primario del transformador y el potencial de tierra. El valor de medida se compara con un valor límite prefijado. Se adapta la energía eléctrica generada por el generador cuando el valor de medida sobrepasa el valor límite. Mediante una medición de la tensión con respecto al potencial de tierra se pueden adquirir informaciones que no pueden obtenerse con una sencilla medición de la tensión entre las fases.

30 En primer lugar, se explicarán algunos términos. Se habla de un potencial no definido en el lado primario del transformador cuando la red que allí se conecta no está en absoluto puesta a tierra (es decir que, por ejemplo, no tiene ningún punto neutro) o el punto de puesta a tierra está tan alejado que se puede ajustar en el lado primario del transformador un potencial distinto del potencial presente en el punto de puesta a tierra. Particularmente en parques eólicos marinos los puntos de puesta a tierra están casi siempre sobre las plataformas transformadoras, ya que éstas no pueden colocarse espacialmente en las instalaciones de energía eólica. Además, en parques eólicos marinos las líneas de conexión eléctrica con la plataforma de la central transformadora son muy largas, de modo que no está definido el potencial en el lado primario del transformador. En el caso normal, la tensión del sistema de secuencia cero en la red de media tensión es cero y, por tanto, puede hablarse especialmente de un potencial no definido cuando la resistencia eléctrica de la conexión eléctrica está el punto de puesta a tierra es tan grande que, al producirse un defecto en la red de media tensión, especialmente una brusca disminución de la tensión, se puede ajustar en el lado primario del transformador una tensión del sistema de secuencia cero distinta de cero.

35 La invención se explica con el ejemplo consistente en que se conecta una red de media tensión al lado primario del transformador. En el lado secundario del transformador está conectada la instalación de energía eólica a un nivel de tensión más bajo en comparación con el lado primario. El empleo del término red de media tensión sirve para fines de claridad. No está ligada a éste una limitación de la invención a un rango de tensión determinado.

40 El núcleo de la invención consiste en medir en el lado primario del transformador la tensión con respecto al potencial de tierra y deducir de un desplazamiento del potencial ciertas conclusiones para el funcionamiento adicional de la instalación de energía eólica. La invención se basa en el conocimiento de que en una red de tensión existen defectos que no se manifiestan en primer lugar en que se modifica la tensión entre las fases, sino en que el potencial de las fases se desplaza con respecto a un tercer punto. Mediante una sencilla medición de la tensión entre las

fases no se reconocen tales defectos o bien no se les reconoce a su debido tiempo.

Con la invención se propone medir en el lado primario del transformador la tensión con respecto a un tercer punto, concretamente el potencial de tierra. Los defectos correspondientes pueden así reconocerse más rápidamente y la alimentación de potencia de la instalación de energía eólica puede ser tempranamente adaptada. Mediante una reacción rápida se puede evitar que los cables de la red de media tensión se sobrecarguen por una alimentación de potencia excesiva y sufran así daños. Las medidas concretas que se toman en la instalación de energía eólica para adaptar la entrega de potencia pueden – como se explica con detalle más adelante – variar según las circunstancias.

Comparado con la medida clásica consistente en prever simplemente un formador de punto neutro en el lado primario del transformador para establecer un potencial definido con respecto a tierra, se han reducido considerablemente los costes. Para la invención se tiene que realizar únicamente una medición de tensión adicional en el lado primario del transformador y se tiene que adaptar el sistema de control de la instalación de energía eólica de modo que éste reaccione de una manera determinada al sobrepasarse valores límite determinados. En contraste con esto, los componentes de media tensión necesarios para un punto separado de puesta a tierra exigen en grado considerable un espacio de montaje adicional en la instalación de energía eólica que no está disponible, especialmente en instalaciones de energía eólica marinas.

La energía eléctrica generada por la instalación de energía eólica se alimenta normalmente en forma de un sistema de corriente trifásica con tres fases. Una forma de representación para tal sistema de corriente trifásica es, como es sabido, el desglose en sistema de secuencia positiva, sistema de secuencia negativa y sistema de secuencia cero; véase, por ejemplo, P. Kundur "Power Systems Stability and Control" (McGraw-Hill, 1994, Capítulo 13.4. Cuando las fases del sistema de corriente trifásica incluyen el ángulo de fase de, en este caso, 120° y están cargadas con la misma tensión, no se aplica tensión alguna al sistema de secuencia cero. Sin embargo, si – por ejemplo, a consecuencia de un cortocircuito a tierra en una fase – se presenta un estado de carga asimétrico, la tensión en el sistema de secuencia cero adopta entonces un valor distinto de cero. El valor límite que se establece en el marco del procedimiento según la invención es preferiblemente un valor límite para la tensión en el sistema de secuencia cero. Cuando la tensión en el sistema de secuencia cero sobrepasa un valor límite prefijado, se adapta la entrega de potencia de la instalación de energía eólica.

Por sistema de secuencia cero o tensión de sistema de secuencia cero se entiende el valor del potencial actual de las tres tensiones de fase en relación con el potencial de tierra, es decir, la proporción idéntica con la que la oscilación de una o varias fases se desvía de su eje cero. La vía matemática para calcular la tensión del sistema de secuencia cero carece de importancia. La tensión del sistema de secuencia cero puede obtenerse por adición de los valores momentáneos de las distintas tensiones de fase o bien por la transformación – descrita en la bibliografía – de los fasores de las tensiones de fase por medio de matrices de transformación complejas en un fasor del sistema de secuencia cero.

Por valor límite de la tensión del sistema de secuencia cero se pueden entender, según la forma de representación, diferentes valores límite. El valor límite puede concernir a la magnitud o la longitud del fasor complejo del sistema de secuencia cero. Como alternativa, un valor límite puede estar pensado para la suma de las tensiones momentáneas de las fases con respecto al potencial de tierra. Asimismo, es posible que el valor límite concierna a una sobretensión asimétrica unilateral de la amplitud de tensión máxima de una fase en el marco de un periodo de tensión alterna. La invención se explica aquí con ayuda de una definición relativa de un valor límite respecto del valor normal de la tensión. La transformación en las respectivas formas de representación diferentes puede tomarse de la bibliografía pertinente. Siempre que se hable de un valor límite con respecto a un sistema de secuencia cero, se piensa cada vez en todas las formas de representación.

El valor de medida en el lado primario del transformador se registra preferiblemente de modo que se pueda deducir de él la tensión en el sistema de secuencia cero. Si en el lado primario del transformador está previsto un punto neutro entre las fases del sistema de corriente trifásica que no está puesto a tierra, la tensión del sistema de secuencia cero corresponde entonces a la tensión entre el punto neutro y el potencial de tierra. Por tanto, en este caso se puede medir directamente la tensión del sistema de secuencia cero. Por consiguiente, puede estar previsto también formar por medio de resistencias de alto ohmioje un punto neutro artificial entre las fases y calcular la tensión en el sistema de secuencia cero mediante una medición de la tensión entre el punto neutro artificial y el potencial de tierra. Como alternativa, se puede medir también la tensión con respecto al potencial de tierra para todas las fases del sistema de corriente trifásica. Se obtiene entonces la tensión en el sistema de secuencia cero sumando los valores momentáneos de las tres tensiones de fase y dividiendo el resultado por el número de fases.

Un primer valor límite para la tensión en el sistema de secuencia cero puede estar fijado de modo que se abandone el funcionamiento normal de la instalación de energía eólica al sobrepasarse este valor límite. Este valor límite para la tensión en el sistema de secuencia cero puede estar comprendido, por ejemplo, entre 1% y 5% de la tensión nominal. Si se calcula el valor límite con ayuda de la tensión entre las fases y el potencial de tierra, el primer valor límite puede estar entonces definido, por ejemplo, de modo que la tensión en una primera fase sea un 105% de la tensión nominal, mientras que no se sobrepasa la tensión nominal en una segunda fase. Cuando la tensión

sobrepasa este primer valor límite, se abandona ciertamente el funcionamiento normal, pero, no obstante, durante un espacio de tiempo limitado se puede mantener en funcionamiento la instalación de energía eólica.

5 Cuando en la red de media tensión se presenta un defecto en una fase del sistema de corriente trifásica y resulta por ello una tensión en el sistema de secuencia cero, esto tiene entonces la consecuencia de que la tensión en las dos
 10 fases restantes sube y baja con la frecuencia del sistema de corriente trifásica. Por tanto, se sobrepasa periódicamente la carga admisible de las otras dos fases. Ya después de un corto tiempo de funcionamiento en tal estado de funcionamiento pueden sufrir daños los cables de la red de media tensión. La tensión en el sistema de secuencia cero no puede ser influenciada directamente por medidas en el generador de la instalación de energía eólica. Sin embargo, es posible reducir en conjunto la amplitud de la tensión. En la red de media tensión esto tiene la
 15 consecuencia de que se evitan puntas de tensión y por ello disminuye la carga para los cables. Por tanto, en una forma de realización del procedimiento según la invención la adaptación de la energía eléctrica generada por el generador consiste en que se aminora la amplitud de la tensión después de sobrepasarse un primer valor límite. Preferiblemente, se adapta para ello la alimentación de potencia reactiva de una manera adecuada y en particular se alimenta corriente reactiva inductiva en medida incrementada. Además, se puede aminorar la alimentación de corriente activa para aminorar aún más la carga para los cables.

20 La adaptación de la energía eléctrica generada por el generador puede orientarse al sistema de secuencia positiva o al sistema de secuencia negativa. Si se debe reducir simétricamente la carga para todas las fases del sistema de corriente trifásica, se puede alimentar una corriente reactiva inductiva en el sistema de secuencia positiva para que actúe reduciendo la tensión. Si, adicionalmente o en lugar de esto, se deben compensar divergencias del ángulo de fase, se pueden adoptar medidas adecuadas en el sistema de secuencia negativa. En particular, se puede alimentar una corriente reactiva inductiva en el sistema de secuencia negativa. Las medidas a tomar concretamente pueden ser concertadas con el operador de la red.

25 El lugar de un valor límite que se refiera a la tensión en el sistema de secuencia cero, se puede fijar también un valor límite para la tensión de fase como valor calculado a partir de la tensión del sistema de secuencia positiva, la tensión del sistema de secuencia negativa y la tensión del sistema de secuencia cero. Como primer valor límite para el funcionamiento normal, por encima del cual se adapta la energía eléctrica generada por el generador, se puede aplicar, por ejemplo, un valor de 105% de la tensión nominal.

30 Como alternativa o adicionalmente al primer valor límite, se puede establecer en el procedimiento según la invención un segundo valor límite tras la superación del cual la instalación de la energía eólica no puede ya seguir funcionando ni siquiera durante un corto espacio de tiempo. Si el segundo valor límite se refiere a la tensión en el sistema de secuencia cero, se puede suponer, por ejemplo, un valor comprendido entre el 10% y el 20% de la tensión nominal. Si el segundo valor límite se refiere a la tensión entre las fases y el potencial de tierra, se puede suponer entonces como segundo valor límite, por ejemplo, un valor de 110%, 120% o 130% de la tensión nominal en una primera fase, mientras que no se sobrepasa la tensión nominal en otra fase.

35 Una desconexión normal de la instalación de energía eólica se prolonga durante un cierto espacio de tiempo. En determinadas circunstancias, la energía eléctrica todavía alimentada por la instalación de energía eólica en el transcurso de la desconexión puede ser suficiente para dañar los cables en la red de media tensión. Por tanto, puede estar previsto de que, después de la superación del segundo valor límite, se realice una desconexión rápida. En la desconexión rápida pueden ponerse a cero en un primer paso los valores teóricos para la corriente activa y la
 40 corriente reactiva. En un segundo paso se puede abrir un interruptor seccionador que separa la instalación de energía eólica respecto de la red. Con estas medidas resulta posible en la desconexión rápida el reducir a cero la entrega de potencia dentro de menos de 60 ms, preferiblemente menos de 30 ms. La entrega de potencia es llevada así a cero de una manera netamente más rápida que la velocidad que era posible hasta ahora con una simple apertura del interruptor seccionador, que dura unos 100 ms. Esto es posible debido a que con la técnica del convertidor de frecuencia se puede suprimir la entrega de potencia. No obstante, se acepta como contrapartida una
 45 aceleración del rotor.

50 En otra forma de realización se puede reducir activamente la tensión en la red después de la superación del segundo valor límite. A este fin, la instalación de energía eólica puede extraer potencia de la red, ya que el convertidor de frecuencia (o bien el generador en el caso de una máquina asíncrona doblemente alimentada) absorbe potencia. La potencia puede ser consumida, por ejemplo, por conexión de una resistencia en el circuito intermedio y/o por una entrega de potencia de corta duración hacia el rotor.

55 Con la superación del primer valor límite la instalación de energía eólica abandona el funcionamiento normal. Puede permanecer en funcionamiento en este estado de funcionamiento solamente durante un limitado espacio de tiempo, sin que sufra daños la infraestructura de la red. Cuando la instalación de energía eólica se mantiene fuera del funcionamiento normal durante más tiempo que este espacio de tiempo limitado, se puede considerar entonces esto como una superación de un segundo valor límite. La superación del segundo valor límite así definido puede aprovecharse para desconectar la instalación de energía eólica. En lugar de un único segundo valor límite puede estar archivada también una curva característica en la que esté establecido para diferentes estados (por ejemplo,

tensiones en el sistema de secuencia cero) el espacio del tiempo durante el cual éstos deben ser admitidos. Si se sobrepasa la curva característica, se puede proceder exactamente igual que al sobrepasarse el segundo valor límite.

En el caso de un defecto al cual reacciona la instalación de energía eólica con el procedimiento según la invención, se abre regularmente el interruptor seccionador en la central transformadora después de un breve tiempo y la red de media tensión es separada de la red restante. Particularmente cuando la instalación de energía eólica según la invención alimenta en alto grado corriente reactiva inductiva, la apertura del interruptor seccionador se manifiesta por una variación brusca de la tensión. La aparición de tal variación brusca de la tensión puede aprovecharse por ello como criterio para desconectar la instalación de energía eólica. Si, por el contrario, no se presenta una variación brusca de la tensión dentro de un espacio de tiempo prefijado después de la aparición del defecto, esto indica que no se ha abierto el interruptor seccionador y, por tanto, se desea una alimentación de potencia adicional de la instalación de energía eólica. En consecuencia, la ausencia de la variación brusca de la tensión puede tomarse como criterio para no desconectar la instalación de energía eólica. La prosecución del funcionamiento de la instalación de energía eólica puede hacerse depender así de si se presenta una variación brusca de la tensión. Cuando permanece en funcionamiento la instalación de energía eólica, se la lleva preferiblemente a un estado que puede conservarse de manera permanente a pesar del defecto que siga existiendo. Este estado puede consistir, por ejemplo, en que se entrega la energía eléctrica del modo más completo posible a las fases no perturbadas y se adapta la alimentación de potencia reactiva a valores límite que están previstos para un funcionamiento permanente.

Los valores de medida sobre la tensión con respecto al potencial de tierra, registrados en el lado primario del transformador, pueden ser procesados inmediatamente en el convertidor de frecuencia. La ventaja es un tiempo de reacción corto. Como alternativa, los valores de medida pueden ser procesados también primeramente en un sistema de control de la instalación de energía eólica que emite seguidamente señales hacia el convertidor de frecuencia. Es cierto que se alarga así ligeramente el tiempo de reacción, pero, en cambio, son posibles reacciones más complejas.

El valor de medida en el lado primario del transformador puede ser registrado continuamente o puede ser explorado con una frecuencia adecuada. Para excluir perturbaciones de alta frecuencia se puede emplear en la tensión calculada del sistema de secuencia cero un filtrado pasabajos con una frecuencia límite de, por ejemplo, 20 Hz.

En una forma de realización alternativa del procedimiento según la invención el valor de medida registrado en el lado primario del transformador es tenido en cuenta no solo en una instalación de energía eólica, sino en varias de estas instalaciones, para adaptar la energía eléctrica generada por el generador. Puede estar previsto para ello que una instalación de energía eólica retransmita una señal a otras instalaciones de energía eólica tan pronto como el valor de medida registrado en el lado primario del transformador ha sobrepasado un valor límite. En una forma de realización ventajosa esta instalación de energía eólica está bastante alejada de un punto de puesta a tierra en el que está puesta a tierra la red de media tensión y, por tanto, tiene un potencial definido en comparación con el potencial de tierra. Cuanto más alejada esté una instalación de energía eólica respecto del punto de puesta a tierra, tanto más habrá que contar con tensiones en el sistema de secuencia cero. En lugar de una retransmisión directa entre las instalaciones de energía eólica, se puede retransmitir el valor de medida a un sistema de control central (gestor de parque) del parque eólico, y se le puede procesar allí. El gestor del parque puede establecer entonces especificaciones para cada instalación de energía eólica referentes a la forma en que éstas deberán adaptar la entrega de potencia después del reconocimiento de un defecto.

La invención concierne, además, a una instalación de energía eólica que está diseñada para la realización del procedimiento según la invención. La instalación de energía eólica comprende un generador para generar energía eléctrica y un transformador. El transformador recibe en un lado secundario energía eléctrica procedente del generador y entrega ésta nuevamente en un lado primario con una tensión más alta, no estando definido el potencial en el lado primario del transformador. Con un sensor se registra un valor de medida de la tensión que se aplica entre el lado primario del transformador y el potencial de tierra. Un módulo lógico compara el valor de medida con un valor límite prefijado. Con un sistema de control se adapta la energía eléctrica generada por el generador cuando el valor de medida sobrepasa el valor límite.

La instalación de energía eólica según la invención puede combinarse con otras características que se han descrito anteriormente con respecto al procedimiento según la invención.

A continuación, se describe la invención a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos y ayudándose de formas de realización ventajosas. Muestran:

La figura 1, una representación esquemática de un parque eólico;

La figura 2, una representación esquemática de una red de media tensión;

La figura 3, la vista de la figura 2 en otra forma de realización de la invención;

La figura 4, una representación esquemática de una instalación de energía eólica que está diseñada para realizar el

procedimiento según la invención;

Las figuras 5 y 6, una representación esquemática de la evolución de la tensión en las tres fases en un sistema de corriente trifásica;

La figura 7, una representación esquemática de un parque eólico marino; y

5 La figura 8, la vista de la figura 2 en otra forma de realización de la invención.

10 Un parque eólico mostrado en la figura 1 comprende tres instalaciones de energía eólica 10 que generan energía eléctrica con un generador 11 y alimentan ésta a una red. El generador 11 entrega la energía eléctrica como corriente trifásica con una tensión de, por ejemplo, 690 V. La instalación de energía eólica 10 comprende un transformador 12 que transforma la energía eléctrica alimentada por el generador 11 en una tensión más alta, por ejemplo en una media tensión de 10 kV. El transformador 12 obtiene en un lado secundario 13 energía eléctrica procedente de la instalación de energía eólica 10 y entrega ésta por un lado primario 14 a una red de media tensión 15 del parque eólico. El parque eólico comprende también una central transformadora 16 en la que la energía eléctrica, antes de ser transferida a una red de distribución eléctrica pública 17, es transformada en una tensión aún más alta, por ejemplo una tensión muy alta de 400 kV.

15 El transformador 12 de la instalación de energía eólica 10 es, como se muestra en la figura 2, un transformador en conexión estrella-triángulo, en el que el punto neutro está puesto a tierra en el lado secundario 13, mientras que el lado primario 14 no tiene un potencial definido con respecto a tierra. Un punto neutro 17 puesto a tierra existe solamente en el otro extremo de la red de media tensión 15, concretamente en la central transformadora 16. En la invención puede tratarse de una puesta a tierra compensada en la que el punto neutro está puesto a tierra a través de una reactancia ajustable. Con una puesta a tierra compensada se pretende regular a cero la corriente en el punto de defecto de modo que se pueda proseguir el funcionamiento a pesar de un defecto. Es posible también una puesta a tierra de bajo ohmiaje o limitada en corriente con una reactancia de, por ejemplo, 20 ohm a 30 ohm. Finalmente, es posible también una puesta a tierra dura con una resistencia de menos de 1 ohm.

20 La red de media tensión 15 puede tener una extensión considerable, especialmente en el caso de parques eólicos grandes. Debido a las capacidades, inductividades y resistencias de los cables de la red de media tensión 15 el potencial en el lado primario del transformador 12 no coincide forzosamente con el potencial del punto neutro 18 en el otro extremo de la red de media tensión 15. Por tanto, en el lado primario 14 del transformador 12 no está definido el potencial en el sentido de la invención. Si se produce ahora un defecto en la red de media tensión 15, por ejemplo en forma de un cortocircuito a tierra monofásico, se puede modificar entonces el potencial con respecto a tierra en el lado primario 14 del transformador 12, sin que esto llame inmediatamente la atención en el caso de una medición de la tensión entre las fases.

25 En la figura 5 se representa a modo de ejemplo y en forma esquemática la evolución de la tensión en el lado primario 14 del transformador 12 en las tres fases L1, L2, L3 de la red de media tensión 15 con respecto al potencial de tierra. En el espacio de tiempo entre 0 segundos y 1 segundo la red de media tensión 15 se encuentra en su estado normal. En las tres fases L1, L2, L3 se aplica una tensión alterna, estando las curvas de tensión siempre decaladas en 120° una con respecto a otra. Las tensiones momentáneas se suman en todo momento dando cero, con lo que no se aplica tensión en el sistema de secuencia cero. La amplitud de las tensiones U asciende precisamente al 100% de la tensión U_{normal} , la cual no debe sobrepasarse durante el funcionamiento normal.

30 Después de 1 segundo, se presenta en la fase L2 un defecto a consecuencia del cual la tensión en la fase L2 disminuye bruscamente hasta un valor del 80% de la tensión U_{normal} (referido al potencial de tierra). El cortocircuito a tierra conduce a que los valores momentáneos de las tensiones ya no se sumen dando cero y a que por ello se aplique una tensión en el sistema de secuencia cero. En las fases L1 y L3 aumenta rápidamente la tensión con respecto al potencial de tierra después de la aparición del defecto.

35 Si se midiera solamente la tensión entre las fases, el fuerte aumento de la tensión no llamaría inmediatamente la atención. Aun cuando se consideren los valores de tensión en el lado secundario 13 del transformador 12, no se percibe inmediatamente el defecto. Esto rige incluso aunque en el lado secundario 13 del transformador 12 esté previsto un punto neutro puesto a tierra, dado que el sistema de secuencia cero no se transmite a través del transformador 12.

40 Sin el procedimiento según la invención, la amplitud de tensión en las otras dos fases L1 y L3, como se muestra con línea de trazos en la figura 5, aumentaría hasta un valor de, por ejemplo, 125% (referido al potencial de tierra). Si se puede despejar el defecto en el instante $t=5s$, la tensión en la fase L2 retorna de nuevo al valor original del 100% y la tensión en las fases L1 y L3 oscilaría también nuevamente en el rango normal después de una corta fase de estabilización. Debido a la alta tensión en las fases L1 y L3 existe el peligro de que sufran daños los cables diseñados para tensión normal.

45 Con el procedimiento según la invención se aminora la carga para los cables de las fases L1 y L3. Cuando la tensión

U en las fases L1 y L3 con respecto al potencial de tierra se hace superior al 110% de la tensión U_{normal} , esto se valora como superación del primer valor límite y se adapta la entrega de potencia de una manera correspondiente. La instalación de energía eólica alimenta corriente reactiva inductiva a las fases L1 y L3 y disminuye la tensión en las fases hasta aproximadamente un 105%, tal como muestra en la figura 5 la línea identificada con puntos. La tensión está situada así en un rango que pueden aguantar los cables. Para reducir aún más la carga para los cables se puede aminorar adicionalmente la alimentación de corriente activa. Después de la finalización del defecto en $t=5s$ se retorna nuevamente a la entrega de potencia normal, con lo que finalmente se aplica de nuevo tensión normal en todas las fases.

En el segundo ejemplo de ilustración esquemático de la figura 6 se presenta después de 0,5 segundos en la fase L2 un cortocircuito a tierra en la red de media tensión 15 entre la instalación de energía eólica 10 y la central transformadora 16. En el lugar de ubicación del cortocircuito a tierra, que está situado en las inmediaciones de la central transformadora 16, la resistencia eléctrica entre la fase L2 y el potencial de tierra es casi cero, de modo que la tensión de la fase L2 en este sitio disminuye también bruscamente hasta un valor de casi cero. Sin embargo, debido a la distancia al cortocircuito a tierra la tensión en el lado primario 14 del transformador 12 no se desploma completamente, sino que adopta un valor de, por ejemplo, el 50% de la tensión normal. Como consecuencia, aumenta la tensión en las fases L1 y L3. Con el procedimiento según la invención se reconoce después de un breve tiempo que la tensión en las fases L1 y L3 sobrepasa el primer valor límite de 110% y se intenta limitar la tensión alimentando corriente reactiva inductiva. Se logra también limitar de momento el aumento de tensión; véase la línea identificada con puntos en la figura 6.

Sin embargo, en fracciones de segundo después de la aparición del defecto se detecta en la central transformadora 16 que el defecto es muy serio. Seguidamente, se maniobra en la central transformadora 16 un interruptor seccionador que separa la red de media tensión 15 respecto de la central transformadora 16. Dado que ahora en las fases L1 y L3 ya no se puede descargar potencia en la red, sino que solamente se alimenta todavía potencia al cortocircuito, sigue aumentando la tensión en las fases L1 y L3 a pesar de las contramedidas según la invención. En el instante $t=0,8s$, la tensión en las fases L1 y L3 sobrepasa el segundo valor límite de 130%. Después de la superación del segundo valor límite se efectúa una desconexión rápida de la instalación de energía eólica 10 con la que la entrega de potencia es devuelta a cero en 60 ms.

Sin el procedimiento según la invención, la tensión en las fases L1 y L3 aumentaría rápidamente después de la aparición del defecto hasta un valor de, por ejemplo, 140%. Únicamente después de una actuación externa, que interviene aquí en el instante $t=2s$, se reduciría la entrega de potencia de la instalación de energía eólica 10. Hasta entonces, pueden haberse dañado ya los cables.

La apertura del interruptor seccionador en la central transformadora va acompañada regularmente de una variación brusca de la tensión en las fases L1 y L3 no perturbadas. Esta variación brusca de la tensión puede aprovecharse como criterio adicional para una desconexión inmediata de la instalación de energía eólica.

Además, con el procedimiento según la invención resulta posible que las instalaciones de energía eólica sigan funcionando también a más largo plazo con una red asimétricamente perturbada. Esto es interesante especialmente cuando el defecto en la red de media tensión no puede eliminarse a corto plazo, lo que podría ocurrir ocasionalmente, por ejemplo, en parques eólicos marinos. En el caso más sencillo, se puede enviar por medio de una línea de acción a distancia una señal a la instalación de energía eólica para que ésta siga funcionando, de modo que la instalación de energía eólica acoja un funcionamiento permanente teniendo en cuenta los valores límite primero y segundo y/u otros valores límites especialmente establecidos para el funcionamiento permanente. La potencia es entonces alimentada de manera preponderante o exclusiva a las fases no perturbadas y se tolera una tensión del sistema de secuencia cero por la instalación de energía eólica.

Tal como se representa, la apertura del interruptor seccionador va ligada a una variación brusca de la tensión en las fases no perturbadas. Por el contrario, la ausencia de esta variación brusca de la tensión indica que la red de media tensión sigue estando conectada a la central transformadora. Por este motivo, la ausencia de una variación brusca de la tensión puede aprovecharse, según se expone seguidamente, como criterio para un funcionamiento adicional de la instalación de energía eólica. Según se ha descrito con ayuda de las figuras 5 y 6, la instalación de energía eólica reacciona al presentarse una tensión del sistema de secuencia cero con el procedimiento según la invención para reducir la tensión del sistema de secuencia cero. Se espera ahora que se abra el interruptor seccionador después de un tiempo prefijado determinado en función de la profundidad de la brusca disminución de la tensión para separar el sitio defectuoso respecto de la red. En el caso de una alimentación de corriente reactiva inductiva, la instalación de energía eólica reconoce esto en un salto de tensión en las fases no perturbadas, por ejemplo en forma de una disminución brusca de la tensión. Si este salto de tensión desaparece dentro de un tiempo prefijable, es evidente entonces que no se desea ninguna separación con respecto a la red de media tensión y la instalación de energía eólica asume un funcionamiento permanente en la red asimétrica. Se ajusta para ello la instalación de energía eólica de modo que se mantengan los valores límite para el funcionamiento permanente. Por ejemplo, se puede aumentar de nuevo la alimentación de corriente activa reducida y se puede adaptar la alimentación de

corriente reactiva a los valores límite para el funcionamiento permanente.

Para la realización del procedimiento según la invención se ha previsto en cada instalación de energía eólica 10 un sensor 19 para la tensión en el lado primario 14 del transformador 12. El sensor 19 tiene una resistencia tal alta que no influye sobre el potencial en el lado primario 14. El sensor 19 toma la tensión de las tres fases L1, L2, L3 con respecto al potencial de tierra en las proximidades del transformador 12. Los valores de medida del sensor 19 se alimentan según la figura 4 al sistema de control 20 de la instalación de energía eólica 10. En un módulo de cálculo 21 se calcula continuamente la tensión U_0 del sistema de secuencia cero a partir de los valores momentáneos de la tensión en las fases L1, L2, L3. En tanto – como en la figura 5 antes de la aparición del defecto – sea igual la amplitud de las tensiones y se mantenga el ángulo de fase de 120° , no existe ninguna tensión en el sistema de secuencia cero. Después de la aparición del defecto, ya no se anulan las tensiones en la suma y la tensión en el sistema de secuencia cero adopta un valor distinto de cero.

Un módulo lógico 22 en el sistema de control 20 compara continuamente la tensión U_0 en el sistema de secuencia cero, determinada por el módulo de cálculo 21, con un primer valor límite prefijado y realiza así una comparación entre un valor de medida registrado en el lado primario 14 del transformador 12 y un valor límite. Se sobrepasa este valor límite cuando la tensión en el sistema de secuencia cero es superior a un 5% de la tensión nominal. Por consiguiente, en tanto la tensión en el sistema de secuencia cero sea inferior al 5% de la tensión nominal, se parte de la consideración de que la red de media tensión 15 se encuentra en el estado de funcionamiento normal.

Cuando se ha sobrepasado el primer valor límite, el sistema de control 20 da una orden al convertidor de frecuencia 23 de la instalación de energía eólica para que adapte la entrega de energía eléctrica de modo que se reduzca la carga para la red de media tensión 15. La orden concreta puede consistir, por ejemplo, en alimentar corriente reactiva inductiva en grado reforzado. En particular, en el caso de un defecto asimétrico, se da la orden de alimentar corriente reactiva inductiva en el sistema de secuencia negativa. Se pueden concertar con el operador de la red las reacciones que deben desarrollarse en cada caso particular. Con la alimentación de corriente reactiva se adapta la energía eléctrica generada por el generador 11. Mediante la corriente reactiva inductiva se reduce en conjunto el nivel de tensión, lo que en el ejemplo de la figura 5 conduciría a que en las fases L1 y L3 la tensión no sea de 125%, sino, por ejemplo, de 105% de la tensión normal U_{nominal} . Los cables de las fases L1 y L3 pueden aguantar un valor de tensión de 105% sin sufrir daños.

En la figura 5 se representa el caso en el que se ha subsanado el defecto en la fase L2 en el instante $t=5s$. Cuando se logra con el procedimiento según la invención mantener la tensión en la red de media tensión dentro de límites determinados, se puede proseguir el funcionamiento sin menoscabo alguno después de la finalización del defecto. En otros casos (véase la figura 6) ocurre que no es posible una subsanación rápida del defecto, sino que, por el contrario, se abre un interruptor seccionador en la central transformadora 16 y así la red de media tensión 15 es separada de la red restante. Cuando la instalación de energía eólica 10 sigue alimentando su plena potencia a pesar del seccionamiento y esto sea solamente durante un corto espacio de tiempo, ello puede conducir entonces a que sufran daños los cables de la red de media tensión 15.

La información referente a que se ha separado la red de media tensión 15 en la central transformadora 16 no puede leerse tampoco directamente en el lado primario 14 del transformador 12 cuando se mide solamente la tensión entre las fases L1, L2, L3. En este contexto, la tensión en el sistema de secuencia cero tiene también mayor fuerza expresiva. Cuando está separada la red de media tensión 15 en la central transformadora 16 y las instalaciones de energía eólica 10 siguen alimentando su plena potencia, aumenta rápidamente la tensión en el sistema de secuencia cero. Puede intentarse de momento disminuir en general el nivel de tensión por la alimentación de corriente reactiva inductiva en el sistema de secuencia positiva y esperar que se cierre de nuevo inmediatamente el interruptor en la central transformadora 16. Sin embargo, si la red de media tensión 15 permanece separada de la central transformadora 16, la tensión en el sistema de secuencia cero sobrepasa entonces también por breve tiempo un segundo valor límite después de que se haya sobrepasado el primer valor límite. Tras la superación del segundo valor límite ya no es posible tampoco un funcionamiento adicional a corto plazo. Como segundo valor límite puede fijarse, por ejemplo, una tensión en el sistema de secuencia cero del 50% de la tensión nominal.

Si el módulo lógico 22 del sistema de control 20 detecta que se ha sobrepasado el segundo valor límite, el sistema de control 20 retransmite entonces una orden de desconexión a la instalación de energía eólica. Después de la orden de desconexión la instalación de energía eólica 10 realiza una desconexión rápida. A este fin, se fijan primero en cero los valores teóricos para la corriente activa y la corriente reactiva. Únicamente después se abre un interruptor seccionador que separa la instalación de energía eólica 10 respecto de la red. Resulta así posible reducir ya a cero la entrega de potencia dentro de 20 ms a 60 ms después de la recepción de la orden de desconexión. Esto es netamente más rápido que la velocidad que se ha podido conseguir hasta ahora mediante una simple apertura de un interruptor seccionador. En caso necesario, se puede extraer potencia de la red durante la desconexión rápida para descargar adicionalmente la red. La potencia puede ser consumida a través de una resistencia que puede conectarse, por ejemplo, en el circuito intermedio del convertidor de frecuencia. Es posible también una entrega de potencia de corta duración hacia el rotor.

Aun cuando, después de abandonar el funcionamiento normal, la tensión en el sistema de secuencia cero no aumente tanto que resulte necesaria una desconexión inmediata de la instalación de energía eólica 10, no se puede conservar el funcionamiento de manera ilimitada. Cuanto más se aproxime la tensión en el sistema de secuencia cero al segundo valor límite, tanto menos tiempo puede conservarse el funcionamiento. En el sistema de control 20 de la instalación de energía eólica 10 puede estar archivada una curva característica que está reproducida como extracto en la tabla siguiente. Si la tensión U_0 en el sistema de secuencia cero sobrepasa la fracción de la tensión nominal U_{nom} reproducida en la columna 1, se puede conservar entonces el funcionamiento para el espacio de tiempo T indicado en la columna 2. Si la tensión U_0 en el sistema de secuencia cero no disminuye nuevamente dentro del espacio de tiempo T, se tiene que desconectar la instalación de energía eólica 10. Por tanto, con la superación de la curva característica se sobrepasa también un segundo valor límite.

U_0/U_{nom}	T
5%	ilimitado
10%	30 s
20%	10 s
40%	2 s
50%	0 s

En la forma de realización mostrada en la figura 2 el lado primario 14 del transformador 12 está conectado en triángulo. Por tanto, no existe un punto neutro en el que pudiera leerse directamente la tensión del sistema de secuencia cero. Por este motivo, la medición de tensión con el sensor 19 se realiza fuera del transformador 12, pero tan cerca del transformador 12 que sea posible sacar conclusiones directas sobre la tensión en el lado primario 14. En otra forma de realización mostrada en la figura 3 el lado primario 14 del transformador 12 está conectado también en estrella. Sin embargo, solamente el punto neutro en el lado secundario 13 está puesto aquí a tierra. En el punto neutro en el lado primario 14 se puede leer directamente la tensión del sistema de secuencia cero de la red de media tensión 15. Por tanto, el sensor 19 ataca en el punto neutro en el lado primario 14 y mide la tensión con respecto al potencial de tierra. El valor de medida puede alimentarse directamente al módulo lógico 22, en el cual se realiza una comparación con el primer valor límite y con el segundo valor límite. En otra forma de realización más, véase la figura 8, está formado un punto neutro artificial en el lado primario 14 del transformador 12 por medio de resistencias 29 de alto ohmiaje. También aquí el sensor 19 puede medir directamente la tensión del sistema de secuencia cero.

En la figura 7 se representa esquemáticamente un parque eólico marino en el que están conectadas cuatro instalaciones de energía eólica 10 en cada uno de dos ramales. La energía eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica 10 se transforma con transformadores 12 en una media tensión de 10 kV y se conduce a un punto de transferencia 25 a través de una red eléctrica 24 interna al parque eólico. La energía eléctrica es transferida allí con otro transformador a un cable marino 26 antes de que se efectúe en tierra, en 27, la transferencia a la red eléctrica pública. Si en este parque eólico se presenta un defecto (por ejemplo, un cortocircuito a tierra) en uno de los ramales, se puede intentar entonces con el procedimiento según la invención mantener la tensión en el ramal dentro de límites aceptables para evitar una separación inmediata del ramal respecto de la red restante. A este fin, como se ha descrito anteriormente, las distintas instalaciones de energía eólica 10 pueden registrar valores de medida en el lado primario del transformador 12 asignado a ellas y reaccionar de manera correspondiente cuando la tensión en el sistema de secuencia cero sobrepasa valores límite primeros o segundos.

Como alternativa, es posible también que la reacción de varias instalaciones de energía eólica 10 dependa de valores de medida que se registran en una instalación de energía eólica 10. Para registrar los valores de medida se elegirá una instalación de energía eólica 10 en la que quepa contar con las tensiones más altas en el sistema de secuencia cero. Regularmente, esta es la instalación de energía eólica que está más alejada del punto de transferencia 25 y, por tanto, del siguiente punto neutro puesto a tierra. Los valores de medida registrados en esta instalación de energía eólica alejada 10 pueden conducirse directamente a las demás instalaciones de energía eólica 10 del ramal, de modo que éstas puedan reaccionar según la invención. Es posible también conducir los valores de medida primeramente a un gestor de parque 28 que decide entonces centralmente qué instalación de energía eólica 10 tiene que reaccionar de qué modo, y que transmite órdenes correspondientes a la instalación de energía eólica 10.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica (10) que comprende un transformador (12), en el que se genera energía eléctrica con un generador (11) y se la alimenta a una red eléctrica (15, 17) en varias fases (L1, L2, L3), alimentándose la energía eléctrica con una baja tensión al lado secundario (13) de un transformador (12) y entregándose esta energía en el lado primario (14) del transformador (12) con una tensión más alta, no estando definido el potencial en el lado primario (14) del transformador (12) con respecto al potencial de tierra, cuyo procedimiento comprende los pasos siguientes:
- 5 a. registro de un valor de medida de la tensión que se aplica entre las fases (L1, L2, L3) del lado primario (14) del transformador (12) y el potencial de tierra;
- 10 b. comparación del valor de medida con un valor límite prefijado;
- c. adaptación de la energía eléctrica generada por el generador (11) cuando el valor de medida sobrepasa el valor límite.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el valor límite concierne a la tensión (U_0) del sistema de secuencia cero.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el valor límite concierne a la tensión entre fase (L1, L2, L3) y potencial de tierra.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que se prefija un primer valor límite, tras la superación del cual la instalación de energía eólica (10) puede mantenerse en funcionamiento durante un espacio de tiempo limitado (T), y por que se prefija un segundo valor límite, tras la superación del cual se desconecta la instalación de energía eólica (10).
- 20 5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** por que se prefija como primer valor límite para la tensión (U_0) del sistema de secuencia cero un valor comprendido entre 1% y 5% de la tensión nominal (U_{nom}).
6. Procedimiento según la reivindicación 4 o 5, **caracterizado** por que, tras la superación del primer valor límite, se aminora la energía eléctrica entregada por el generador (11).
- 25 7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado** por que, tras la superación del primer valor límite, se alimenta corriente reactiva inductiva en el sistema de secuencia positiva y/o en el sistema de secuencia negativa.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado** por que, tras la superación del segundo valor límite, se efectúa una desconexión rápida de la instalación de energía eólica (10).
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, **caracterizado** por que la instalación de energía eólica (10) recibe energía eléctrica de la red eléctrica (15) después de la superación del segundo valor límite.
- 30 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** por que, después del paso c., se hace que la prosecución del funcionamiento de la instalación de energía eólica (11) dependa de si se presenta una variación brusca de la tensión.
11. Procedimiento de funcionamiento de una pluralidad de instalaciones de energía eólica (10), en el que se genera energía eléctrica con un generador (11) y se la alimenta en varias fases (L1, L2, L3) a una red eléctrica (15, 17), alimentándose la energía eléctrica con una baja tensión al lado secundario (13) de un transformador (12) y entregándola en el lado primario (14) del transformador (12) con una tensión más alta, no estando definido el potencial en el lado primario (14) del transformador (12) con respecto al potencial de tierra, cuyo procedimiento comprende los pasos siguientes:
- 35 a. registro de un valor de medida de la tensión que se aplica entre las fases del lado primario (14) del transformador (12) y el potencial de tierra;
- b. comparación del valor de medida con un valor límite prefijado;
- c. retransmisión de una señal a una pluralidad de instalaciones de energía eólica (10) cuando el valor de medida sobrepasa el valor límite;
- 40 d. adaptación de la entrega de potencia a la pluralidad de instalaciones de energía eólica (11).
12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** por que el valor de medida se retransmite a un gestor de parque (28) responsable de la pluralidad de instalaciones de energía eólica (10) y por que el gestor de parque (28) retransmite una señal a la pluralidad de instalaciones de energía eólica (10) al sobrepasarse el valor límite.

- 5 13. Instalación de energía eólica con un generador (11) para generar energía eléctrica, con un transformador (12) que recibe energía eléctrica del generador (11) en un lado secundario (13) y la entrega nuevamente en un lado primario (14) con una tensión más alta en varias fases (L1, L2, L3), no estando definido el potencial en el lado primario (14) del transformador (12) con respecto al potencial de tierra, con un sensor (19) para registrar un valor de medida de la tensión que se aplica entre las fases (L1, L2, L3) del lado primario (14) del transformador (12) y el potencial de tierra, con un módulo lógico (22) para comparar el valor de medida con un valor límite prefijado, y con un sistema de control (20) que adapta la energía eléctrica generada por el generador (11) cuando el valor de medida sobrepasa el valor límite.

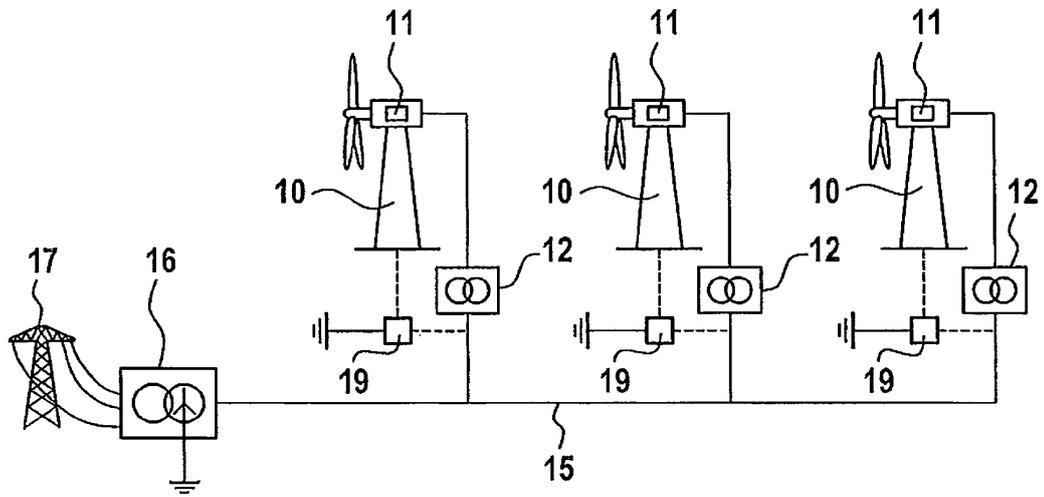


Fig. 1

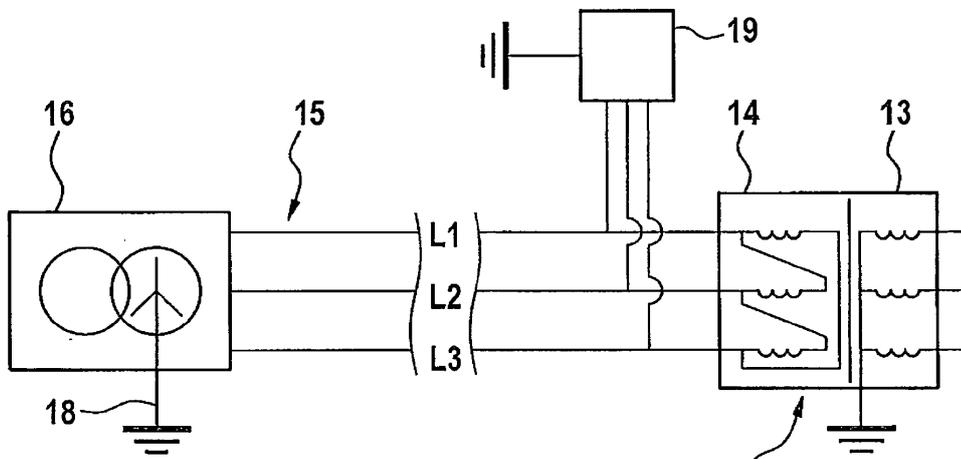
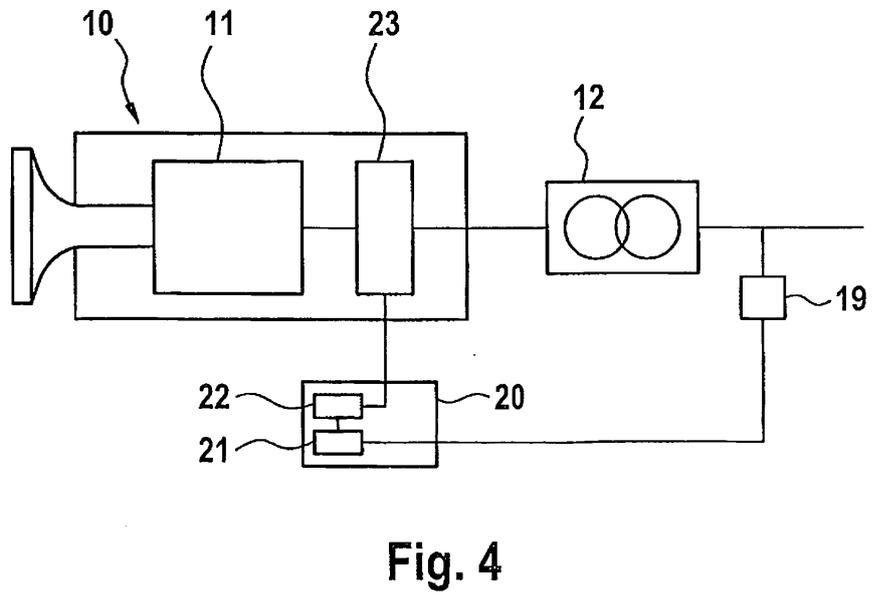
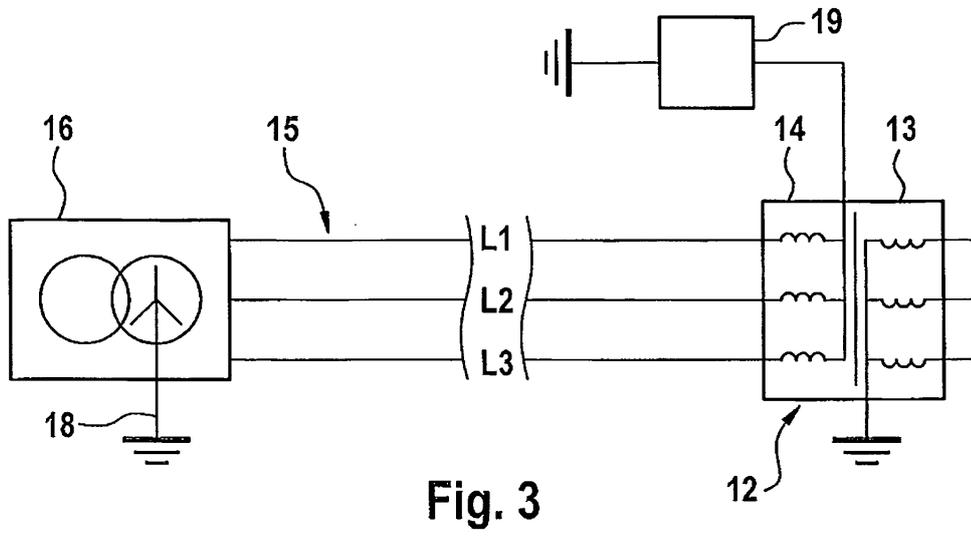


Fig. 2



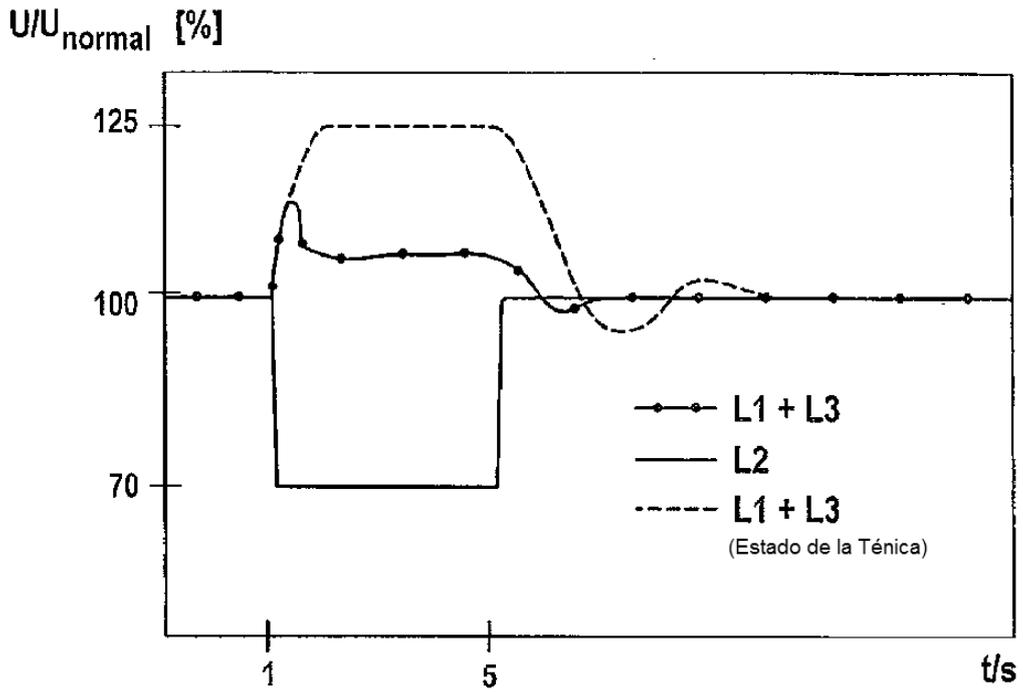


Fig. 5

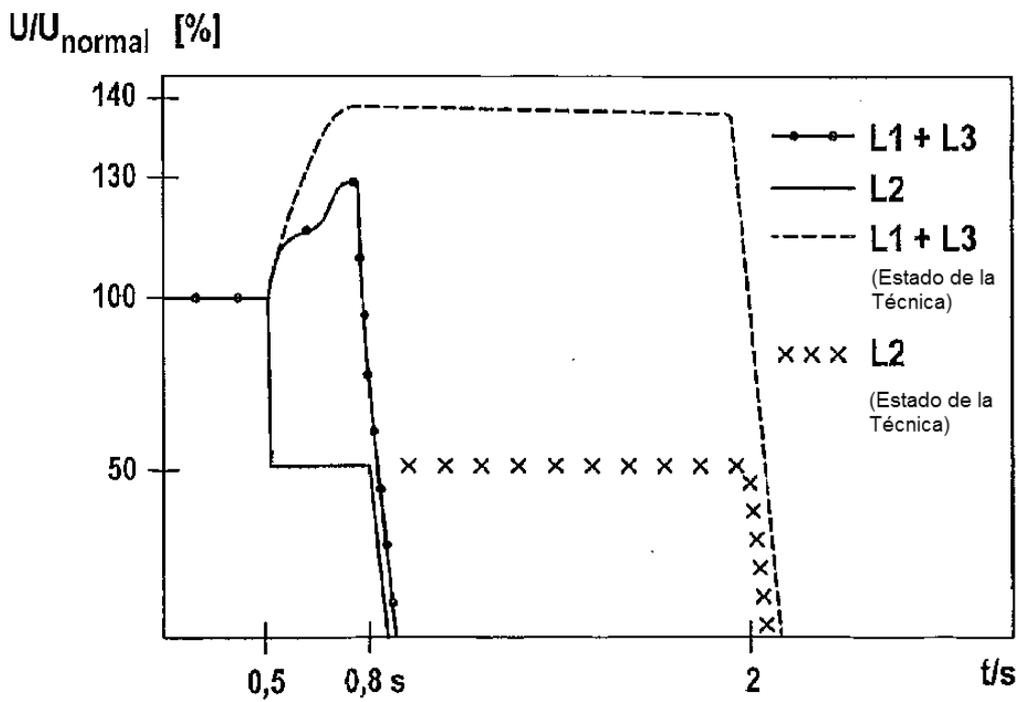


Fig. 6

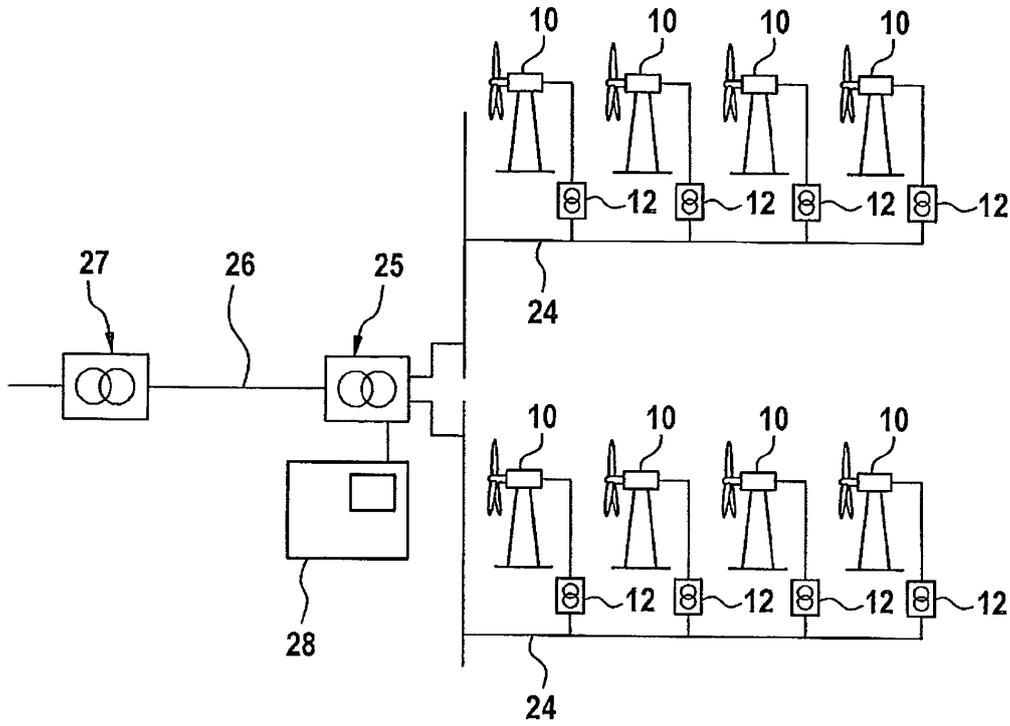


Fig. 7

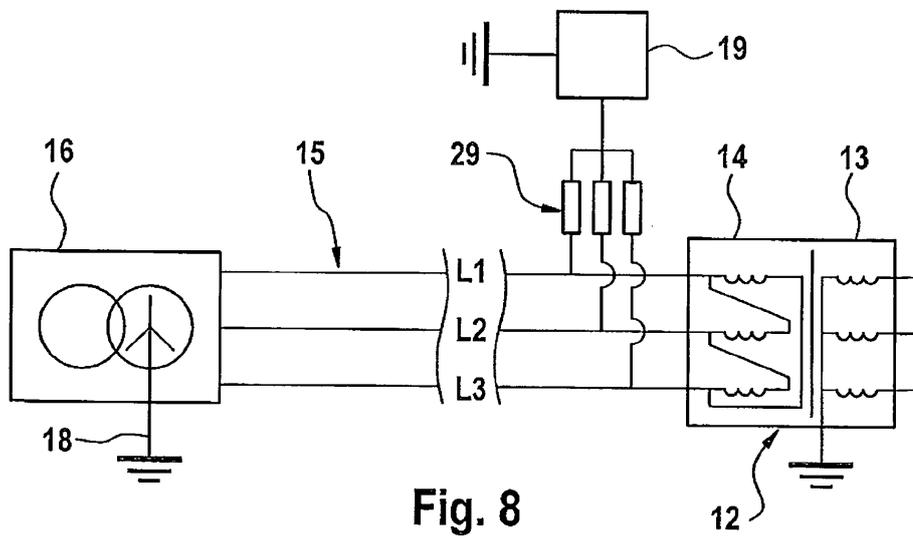


Fig. 8