

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 481**

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: **18.11.2009 E 09014431 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 2333926**

54 Título: **Parque eólico y procedimiento para hacer funcionar un parque eólico**

30 Prioridad:

**22.09.2008 DE 102008048258**

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

**06.10.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FORTMANN, JENS y  
KOCH, FRIEDRICH**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 585 481 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**

Parque eólico y procedimiento para hacer funcionar un parque eólico

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar un parque eólico, en el que se transporta la energía eléctrica generada en el parque eólico a través de una red interna del parque eólico a una estación de transferencia. Antes de la transferencia a una red externa se transforma la energía eléctrica en una tensión, que es superior en una relación de transformación seleccionable a la tensión en la red interna del parque eólico. La invención se refiere además a un parque eólico con una estación de transferencia, en la que se transfiere la energía eléctrica generada  
10 en el parque eólico de una red interna del parque eólico a una red externa. El parque eólico comprende un conmutador de tomas para ajustar la relación de transformación entre la tensión en la red interna del parque eólico y la tensión en la red externa así como un regulador de parque eólico, que indica al conmutador de tomas una relación de transformación.

15 En los parques eólicos, la energía eléctrica generada por las turbinas eólicas se conduce habitualmente a través de una red de media tensión con una tensión de por ejemplo 20 kV a una estación de transferencia. Para la transferencia a la red externa, que por regla general es una red de alta tensión, la energía eléctrica se transforma con un transformador en una tensión de por ejemplo 110 kV. En caso de que cambie la tensión en la red de alta tensión, la tensión en la red de media tensión puede mantenerse constante modificando la relación de transformación entre la alta tensión y la media tensión. Esto se conoce en el estado de la técnica.  
20

Como es sabido, en la generación de electricidad las turbinas eólicas dependen de que la energía eléctrica pueda entregarse a la red interna del parque eólico con una determinada tensión, pudiendo diferir esta tensión sólo ligeramente de la tensión nominal. En caso de que la tensión se encuentre por debajo de la tensión nominal, es necesaria una intensidad de corriente superior para, aún así, poder entregar una potencia nominal. Las intensidades de corriente superiores pueden llevar a un aumento de la carga de los componentes eléctricos de la turbina eólica tales como generador, cable y transformador. Para evitar una sobrecarga, en tales situaciones normalmente primero se limita la potencia reactiva, antes de que se produzca una limitación de la potencia activa. Si, por el contrario, la tensión en la red interna del parque eólico se encuentra por encima de la tensión nominal, entonces esto también  
25 puede llevar a una sobrecarga de los componentes de la turbina eólica, por ejemplo al sobrecargarse el convertidor. Por tanto, la tensión tiene que encontrarse dentro de una banda estrecha por encima y por debajo de la tensión nominal para que la turbina eólica pueda entregar potencia nominal y al mismo tiempo pueda satisfacer las especificaciones de potencia reactiva. Aun cuando la turbina eólica todavía se hace funcionar dentro del intervalo admisible, aumenta la carga de la turbina eólica cuando el funcionamiento tiene lugar cerca de los límites del sistema. Un funcionamiento al borde de los límites del sistema lleva a una disminución de la vida útil de la turbina eólica y a un aumento del esfuerzo de mantenimiento.  
30  
35

Partiendo del estado de la técnica mencionado al principio, la invención se basa en el objetivo de presentar un procedimiento para hacer funcionar un parque eólico así como un parque eólico con los que sea posible reducir la carga de las turbinas eólicas del parque eólico. El objetivo se consigue mediante las características de las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se encuentran formas de realización ventajosas.  
40

Según la invención, en el procedimiento se determina el grado de utilización eléctrica de una turbina eólica del parque eólico y se ajusta la relación de transformación entre la tensión en la red interna del parque eólico y la tensión en la red externa en función del grado de utilización eléctrica de la turbina eólica.  
45

En primer lugar se explicarán algunos términos. Un parque eólico comprende al menos una turbina eólica, aunque por regla general comprende varias turbinas eólicas, en las que la energía de rotación de un rotor se convierte en energía eléctrica a través de un generador. A través de una red interna del parque eólico se conduce la energía eléctrica a una estación de transferencia, en ésta se transforma en una tensión superior y se transfiere a una red externa. La relación entre la tensión en la red externa y la tensión en la red interna del parque eólico se denomina relación de transformación. En el marco de la invención la relación de transformación puede seleccionarse, por tanto, puede modificarse en varias etapas o de manera continua.  
50  
55

En el estado de la técnica se conocen conmutadores de tomas como medios para cambiar la relación de transformación. Así se utilizan conmutadores de tomas en las redes de los grandes proveedores de energía para posibilitar oscilaciones de tensión en las redes de alta tensión, sin que ello vaya acompañado al mismo tiempo de oscilaciones de tensión a nivel de media tensión. Con respecto a las turbinas eólicas, en el documento WO 2006/120033 A2 se ha propuesto utilizar conmutadores de tomas para implementar las especificaciones de potencia reactiva de la red externa. Cuando se hace funcionar el conmutador de tomas cambia la tensión de la red interna del parque eólico. Los reguladores de las turbinas eólicas individuales compensan el cambio de tensión porque aumentan o disminuyen el porcentaje de potencia reactiva.  
60

65 El documento GB2410386 da a conocer una turbina eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación, que a través de un transformador de red con cambiador de tomas en carga está conectada a la red superior. Sólo se

realizan operaciones de conmutación por medio del conmutador de tomas cuando ya no puede mantenerse una especificación de valor teórico por medio de los convertidores de la turbina eólica.

5 El grado de utilización eléctrica de una turbina eólica es el grado de utilización que se produce porque fluye energía eléctrica a través de los componentes de la turbina eólica. Por ejemplo puede determinarse el grado de utilización eléctrica mediante la relación entre potencia aparente (o corriente aparente) actual y posible potencia aparente (o corriente aparente) máxima.

10 Según la invención, el grado de utilización eléctrica se determina por ejemplo porque se observa el punto de trabajo de la turbina eólica y se comprueba la distancia que mantiene el punto de trabajo con respecto a los límites del sistema de la turbina eólica. Por ejemplo, si en el punto de trabajo presente la tensión es tan alta que se corre el riesgo de que el convertidor sufra una sobrecarga, el punto de trabajo está relacionado con un grado de utilización eléctrica elevado. Si, por el contrario, la tensión es tan baja que los componentes eléctricos de la turbina eólica como generador, cable y transformador se calientan por la intensidad de corriente superior, también existe un grado de utilización eléctrica elevado. Cuando se determina la existencia de un grado de utilización eléctrica elevado, entonces con el procedimiento según la invención puede modificarse la relación de transformación, lo que lleva a que en la red interna del parque eólico exista una tensión nueva. La turbina eólica puede entregar la energía eléctrica generada con la tensión nueva y obtiene así un punto de trabajo que está relacionado con un grado de utilización eléctrica menor. Disminuye la carga para la turbina eólica.

20 En una forma de realización ventajosa se determina el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica porque se comparan la tensión  $U$  y una componente reactiva  $Q$  de la energía eléctrica generada en la turbina eólica con un diagrama característico  $U$ - $Q$ , debiendo entender por componente reactiva un término genérico que comprende las diferentes posibilidades de representación como corriente reactiva, potencia reactiva, ángulo de fase, etc. Por diagrama característico  $U$ - $Q$  se entenderá lo siguiente. El generador de una turbina eólica genera la energía eléctrica con tensiones pequeñas, que generalmente se encuentran entre 400 V y 6 kV. Antes de la transferencia a la red interna del parque eólico se transforma la energía eléctrica con un transformador correspondiente a la turbina eólica en una tensión media de por ejemplo 20 kV. Mediante el transformador de la turbina eólica se transmite tanto la componente activa como la componente reactiva de la energía eléctrica. Se sabe que la capacidad del transformador para transmitir la componente reactiva depende de la tensión con la que se hace funcionar el transformador. En un extremo del intervalo de tensión admisible la turbina eólica puede generar sin limitación una componente reactiva capacitiva (funcionamiento sobreexcitado), mientras que en la transmisión de una componente reactiva inductiva (funcionamiento subexcitado) llega más rápidamente a los límites del sistema. En el otro extremo del intervalo de tensión admisible la turbina eólica puede generar bien una componente reactiva inductiva, mientras que en la transmisión de una componente reactiva capacitiva llega más rápidamente a los límites del sistema. Esta relación se describe en detalle en el documento DE 10 2008 018 748. Si se considera un diagrama característico  $U$ - $Q$  derivado de este conocimiento, en comparación con la forma rectangular, que sería de esperar si la capacidad para la transmisión de la componente reactiva por todo el intervalo de tensión admisible fuera igual, faltan dos esquinas. La forma del diagrama característico  $U$ - $Q$  se aproxima por tanto a la de un rombo. Si se considera el diagrama característico  $U$ - $Q$  en el lado de la red interna del parque eólico, entonces con una tensión alta se reduce la capacidad para la alimentación de una componente reactiva capacitiva y con una tensión reducida se reduce la capacidad para la alimentación de una componente reactiva inductiva. En el lado del generador los signos son opuestos. En el marco de la invención, la tensión  $U$  se considera preferiblemente en el lado de la red interna del parque eólico, sin embargo también es posible una consideración en el lado del generador. El diagrama característico  $U$ - $Q$  cambia en función de cuánta potencia entrega la turbina eólica. Así, con una potencia activa menor puede alimentarse un porcentaje mayor de potencia reactiva. Sin embargo, se mantiene la forma similar a la de un rombo del diagrama característico  $U$ - $Q$ .

50 Si se toma el punto de trabajo de la turbina eólica definido por la tensión  $U$  y la componente reactiva  $Q$  y se compara con el diagrama característico  $U$ - $Q$ , entonces puede partirse de un grado de utilización eléctrica reducido de la turbina eólica cuando el punto de trabajo está muy alejado de todos los límites del diagrama característico  $U$ - $Q$ . El grado de utilización eléctrica aumenta cuando el punto de trabajo se aproxima a un límite del diagrama característico  $U$ - $Q$ . En caso de que el punto de trabajo se aproxime a un límite del diagrama característico  $U$ - $Q$  donde en comparación con el rectángulo falta una esquina, la reacción clásica sería reducir la componente reactiva  $Q$  y aceptar que la turbina eólica ya no puede satisfacer la especificación de potencia reactiva. En su lugar, en el marco de la invención, mediante un cambio de la relación de transformación puede modificarse la tensión en la red interna del parque eólico. El punto de trabajo de la turbina eólica se aleja así de los límites del diagrama característico  $U$ - $Q$  y se reduce el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica. Puede aprovecharse el margen así obtenido para aumentar la componente reactiva  $Q$  de modo que se satisfaga de nuevo la especificación de potencia reactiva.

60 En lugar de considerar únicamente la distancia del punto de trabajo con respecto a los límites del diagrama característico  $U$ - $Q$ , en el diagrama característico para cada punto de trabajo puede leerse si sería posible, en caso necesario, poner a disposición una componente reactiva capacitiva o inductiva adicional. La capacidad para poder proporcionar una componente reactiva capacitiva o inductiva adicional se denomina reserva de potencia reactiva. La invención abarca la idea de modificar la relación de transformación entre la tensión interna del parque eólico y la

tensión de la red externa en función de si el punto de trabajo de la turbina eólica ofrece una reserva de potencia reactiva en una medida suficiente.

5 Un parque eólico comprende normalmente una pluralidad de turbinas eólicas. Si se modifica la relación de transformación entre la tensión interna del parque eólico y la tensión de la red externa, entonces esto no afecta a una única turbina eólica, sino a todas las turbinas eólicas del parque eólico. Si se realiza el procedimiento según la invención de modo que ya se modifique la relación de transformación cuando en una única turbina eólica exista un grado de utilización eléctrica elevado, esto reducirá el grado de utilización eléctrica de esta turbina eólica; sin embargo, al mismo tiempo tal vez se aumente el grado de utilización eléctrica de las demás turbinas eólicas.  
10 Preferiblemente, la relación de transformación sólo se modifica cuando el grado de utilización eléctrica, en una pluralidad o un número predeterminado de turbinas eólicas del parque eólico, ha superado unos límites predeterminados.

15 Los conmutadores de tomas, que pueden utilizarse para cambiar la relación de transformación, están sometidos a un desgaste elevado y resisten sólo un número limitado de operaciones de conmutación. Por ello, merece la pena modificar la relación de transformación sólo cuando la ganancia por la descarga de las turbinas eólicas es mayor que la pérdida por el desgaste del conmutador de tomas. Esto puede conseguirse por ejemplo haciendo funcionar el conmutador de tomas sólo cuando se satisfaga una condición más estricta. La condición puede ser por ejemplo la comunicación de un grado de utilización eléctrica aumentado por un periodo de tiempo predeterminado de por ejemplo más de 1 minuto o más de 10 minutos. Otros criterios podrían ser que el parque eólico en conjunto ya no puede suministrar la potencia reactiva demandada o que se superan límites de temperatura en las turbinas eólicas. Además, la conmutación del conmutador de tomas puede ser en función de si en un intervalo de tiempo anterior de por ejemplo 30 minutos, 24 horas o un mes ya ha tenido lugar una operación de conmutación o un número determinado de operaciones de conmutación.

25 La decisión de si se conmuta el conmutador de tomas puede tomarse en particular en función de los siguientes criterios. Puede observarse un valor promedio de la tensión a lo largo del tiempo y conmutarse el conmutador de tomas sólo cuando el valor promedio se encuentra por encima de un valor límite predeterminado durante un intervalo de tiempo predeterminado. De este modo puede evitarse una conmutación del conmutador de tomas con oscilaciones de tensión cortas. Además puede observarse el intervalo de tiempo hasta la siguiente operación de mantenimiento regular de la turbina eólica. Si se parte del hecho de que un conmutador de tomas entre dos operaciones de mantenimiento sólo puede realizar un número predeterminado de operaciones de conmutación, entonces en cualquier momento puede determinarse la cantidad de operaciones de conmutación que aún son posibles hasta la siguiente operación de mantenimiento. En caso de que el intervalo de tiempo hasta la siguiente operación de mantenimiento aún sea largo y ya sólo estén disponibles pocas operaciones de conmutación, entonces pueden endurecerse los criterios que disparan una operación de conmutación y al revés. Además, el disparo de una operación de conmutación puede ser en función de una valoración de coste/uso. Mediante el número de operaciones de conmutación entre dos operaciones de mantenimiento y los costes de una operación de mantenimiento pueden calcularse fácilmente los costes relacionados con una única operación de conmutación.  
30 También está disponible la información de los costes que se producen por ejemplo porque debido a un grado de utilización eléctrica elevado de la turbina eólica disminuye la alimentación de potencia. Si, por ejemplo, una operación de conmutación cuesta 25 euros y por la reducción de la alimentación de potencia en 15 minutos se producen costes de 25 euros, entonces una operación de conmutación será razonable desde el punto de vista económico cuando gracias a ésta la turbina eólica pueda hacerse funcionar durante un periodo de tiempo de más de 45 15 minutos con una alimentación de potencia máxima en lugar de con una reducida. La decisión sobre hacer funcionar el conmutador de tomas puede ser en función de uno o varios de los criterios anteriores. Puede estar previsto un módulo de valoración en el regulador de parque eólico que tome la decisión. Además, el módulo de valoración puede estar diseñado para, en función de la entrega de potencia activa actual y/o un valor promedio de tensión y/o una magnitud de estado del conmutador de tomas, seleccionar un diagrama característico U-Q adecuado a partir de una pluralidad de diagramas característicos U-Q.  
50

En caso de que el grado de utilización eléctrica de las turbinas eólicas del parque eólico sea demasiado elevado, es decir, en caso de que el punto de trabajo esté muy alejado del intervalo deseado, entonces el conmutador de tomas puede modificar la relación de transformación en una operación de conmutación en varias etapas.  
55

A la inversa, no obligatoriamente tiene que ser una condición previa para un cambio de la relación de transformación que una o varias turbinas eólicas lleguen a sus límites de potencia. Cuando las turbinas eólicas están tan alejadas de sus límites del sistema que es posible un aumento de la tensión sin que se alcancen los límites del sistema, entonces puede realizarse el aumento de tensión para reducir las pérdidas eléctricas y aumentar el rendimiento.  
60

Si se cambia la relación de transformación y con ello la tensión en la red interna del parque eólico, entonces tal vez el control de la turbina eólica intentará contrarrestar el cambio de tensión y regular la tensión para adoptar de nuevo el valor anterior. En la mayoría de los casos no se desea una reacción de este tipo de la turbina eólica. Puede evitarse la reacción cuando se indican a la turbina eólica durante el cambio de la relación de transformación valores teóricos nuevos para la tensión y/o la componente reactiva. La turbina eólica recibe así información acerca de que se desea el cambio en la red interna del parque eólico y de que no debe actuarse en contra.  
65

- 5 En una menor medida que con un conmutador de tomas, también puede influirse en el nivel de tensión en la red interna del parque eólico con medidas para una compensación activa o pasiva. Un ejemplo de ello es la conexión o desconexión de capacitancias en la red interna del parque eólico. Es razonable unir el procedimiento según la invención con el control de la compensación de tal modo que inicialmente se produzcan cambios reducidos a través de la compensación interna del parque eólico y que el conmutador de tomas sólo se haga funcionar cuando es necesario un cambio considerable.
- 10 El parque eólico según la invención está diseñado para la realización del procedimiento según la invención. Está previsto que la regulación de parque eólico indique al conmutador de tomas la relación de transformación en función del grado de utilización eléctrica de una turbina eólica. Al indicar la relación de transformación adecuada y ajustando así la tensión en la red interna del parque eólico, las turbinas eólicas del parque eólico pueden hacerse funcionar en un punto de trabajo, en el que las turbinas eólicas están bajo una carga reducida.
- 15 Preferiblemente está prevista una memoria de diagramas característicos, en la que se deposita un diagrama característico U-Q que difiere de la forma rectangular. Mediante el diagrama característico U-Q puede determinarse la magnitud del grado de utilización eléctrica al que está sometida la turbina eólica. Para ello, directamente en la turbina eólica puede estar previsto un módulo lógico que compara la tensión U y la componente reactiva Q de la energía eléctrica alimentada a la red interna del parque eólico con el diagrama característico U-Q. En caso de que la comparación lleve al resultado de que la turbina eólica está sometida a un grado de utilización eléctrica aumentado, entonces puede enviarse una comunicación correspondiente al regulador de parque eólico. En el regulador de parque eólico puede comprobarse si existen las condiciones para una conmutación del conmutador de tomas. La condición puede ser por ejemplo que más de una o más de la mitad de las turbinas eólicas del parque eólico comuniquen la existencia de un grado de utilización aumentado.
- 20
- 25 Alternativa o adicionalmente en el regulador de parque eólico puede estar previsto un módulo lógico que compare la tensión U y la componente reactiva Q de la red interna del parque eólico con el diagrama característico U-Q. Diferentes factores pueden llevar a que la tensión en la red interna del parque eólico no sea igual en todos los puntos. Por tanto, los valores para la tensión U y la componente reactiva Q en la estación de transferencia para la red externa no tienen que coincidir necesariamente con los valores correspondientes en las turbinas eólicas individuales. Aún así, a partir de los valores de medición centrales a través de la tensión U y la componente reactiva Q en la red interna del parque eólico puede derivarse información sobre el grado de utilización eléctrica de las turbinas eólicas individuales y pueden establecerse condiciones bajo las cuales se hace funcionar el conmutador de tomas para modificar la relación de transformación. Por ejemplo, puede estar prevista una conmutación del conmutador de tomas cuando el parque eólico recibe desde fuera una especificación nueva de potencia reactiva y ya mediante una comparación central con el diagrama característico U-Q puede determinarse que las turbinas eólicas debido a un grado de utilización eléctrica elevado no podrán satisfacer la especificación nueva de potencia reactiva.
- 30
- 35 El conmutador de tomas puede estar dispuesto por separado o estar unido de manera constructiva con el transformador. Para poder reaccionar rápidamente cuando los puntos de trabajo de las turbinas eólicas se encuentran muy alejados de los puntos deseados, el conmutador de tomas puede estar diseñado de tal modo que, en caso necesario, en una operación de conmutación realice un cambio por varias etapas de conmutación. Para el ajuste fino de la tensión, en la red interna del parque eólico puede estar prevista además una fuente de potencia reactiva independiente de las turbinas eólicas, que puede conectarse y desconectarse. La fuente de potencia reactiva puede estar controlada o regulada. También pueden estar conectadas en paralelo varias combinaciones de conmutador de tomas y transformador para generar una redundancia.
- 40
- 45 Puede estar previsto que la energía eléctrica, inicialmente se transporte a través de una línea de conexión a la red externa. Esto se considera por ejemplo cuando el parque eólico es un parque eólico mar adentro y la energía eléctrica se conduce a través de la línea de conexión hacia la costa o cuando el parque eólico está muy alejado del siguiente punto de conexión de la red pública de distribución de energía. Un primer conmutador de tomas puede estar dispuesto en un primer extremo de la línea de conexión y un segundo conmutador de tomas puede estar dispuesto en un segundo extremo de la línea de conexión, controlándose o regulándose los dos conmutadores de tomas mediante el regulador de parque eólico. Así, puede seleccionarse la tensión en la red interna del parque eólico independientemente de la tensión en la red pública de distribución de energía y es posible contrarrestar una caída de tensión a través de la línea de conexión mediante la conmutación de uno de los dos conmutadores de tomas.
- 50
- 55 A continuación se describirá la invención a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos mediante una forma de realización ventajosa. Muestran:
- 60 la figura 1, un parque eólico según la invención;
- 65 la figura 2, un diagrama característico U-Q de una turbina eólica del parque eólico según la invención;

las figuras 3, 4, puntos de trabajo a modo de ejemplo de turbinas eólicas mediante el diagrama característico U-Q de la figura 2; y

la figura 5, un diagrama característico U-Q alternativo.

5

Un parque eólico en la figura 1 comprende una pluralidad de turbinas eólicas 10. Cada turbina eólica 10 comprende un rotor, cuya rotación se convierte en energía eléctrica a través de un generador no representado. La energía eléctrica generada por el generador con una tensión de por ejemplo 690 V ya se transforma en la turbina eólica 10 en una media tensión de 20 kV. Con la tensión de 20 kV la energía eléctrica se alimenta a una red interna del parque eólico 11 y a través de la red interna del parque eólico 11 se conduce a una estación de transferencia 12. Los tramos de la red interna del parque eólico 11 se representan en forma de esquemas equivalentes 15 para indicar que en cada caso también tienen el efecto de una inductancia, una capacitancia y una resistencia. En la estación de transferencia 12 está previsto un transformador con un conmutador de tomas 13 con el que se transforma la energía eléctrica de la media tensión de 20 kV en una alta tensión de 110 kV.

10

15

En la estación de transferencia 12 la energía eléctrica se transfiere a una red externa 14. La red externa es normalmente una red pública de distribución de energía, a través de la que se distribuye la energía eléctrica a los consumidores. En particular, en el caso de un parque eólico mar adentro, la energía eléctrica puede transferirse inicialmente a través de un conmutador de tomas a una línea de conexión, antes de que a través de otro conmutador de tomas dispuesto en el otro extremo de la línea de conexión se transfiera a la red externa. Puede estar previsto que los dos conmutadores de tomas en la realización del procedimiento según la invención se conecten adaptados entre sí, considerándose para la invención los dos conmutadores de tomas como pertenecientes al parque eólico. Esto hace posible desacoplar la tensión en la red interna del parque eólico 11 de la tensión de la red pública de distribución de energía y seleccionar la tensión de la red interna del parque eólico 11 independientemente de la tensión en la red pública de distribución de energía. Además es posible contrarrestar un cambio de tensión, que se produce sólo en un extremo de la línea de conexión, haciendo funcionar uno de los dos conmutadores de tomas.

20

25

A un regulador de parque eólico 20 se le suministran diferentes informaciones sobre el estado del parque eólico. Las informaciones comprenden la tensión real y la corriente real en la red interna del parque eólico 11, especificaciones de fuera para la tensión y la potencia reactiva, con las que se transferirá la energía eléctrica a la red externa 14, así como informaciones sobre el estado de las turbinas eólicas 10. El regulador de parque eólico 20 procesa estas informaciones y a partir de las mismas calcula especificaciones que se transmiten a los componentes del parque eólico. Así, el conmutador de tomas 13 recibe una especificación para la relación de transformación. Para las turbinas eólicas 10 se realizan especificaciones para la tensión y la potencia reactiva.

30

35

La figura 2 muestra un diagrama característico U-Q 17, que indica el intervalo de trabajo en el cual una turbina eólica 10 puede alimentar energía eléctrica a la red interna del parque eólico 11. En el diagrama característico U-Q 17, en uno de los ejes se indica la tensión U en unidades normalizadas, correspondiendo un valor de 1,00 a la tensión nominal. En el otro eje se representa también en unidades normalizadas la componente reactiva Q, estando la corriente y la tensión en un valor de  $Q = 0,0$  en fase. Por tanto, en caso de que  $Q = 0,0$  sólo se transmite potencia activa, la componente reactiva es 0. En caso de valores positivos de Q se alimenta potencia reactiva capacitiva, en caso de valores negativos de Q, potencia reactiva inductiva. Si la turbina eólica por todo el intervalo de tensión admisible entre 0,95 y 1,06 en la misma medida pudiera poner a disposición potencia reactiva, entonces el diagrama característico U-Q 17 tendría la forma de un rectángulo. Sin embargo, como se explicó anteriormente, con tensiones bajas la capacidad para alimentar potencia reactiva inductiva está reducida. Por el contrario, con tensiones en el extremo superior del intervalo admisible la capacidad para alimentar potencia reactiva capacitiva está reducida. Por ello, en comparación con un rectángulo faltan la esquina inferior izquierda y la esquina superior derecha, el diagrama característico se aproxima a la forma de un rombo.

40

45

50

Si se determina la tensión U y la componente reactiva Q, con la que la turbina eólica 10 alimenta energía eléctrica a la red interna del parque eólico 11, entonces en el diagrama característico U-Q 17 de la figura 2 puede marcarse el punto de trabajo en el que trabaja la turbina eólica 10. En general un punto de trabajo en el centro del diagrama característico U-Q 17 indica más bien un grado de utilización eléctrica reducido de la turbina eólica 10. Un punto de trabajo cerca del límite del diagrama característico U-Q 17 indica un grado de utilización eléctrica elevado de la turbina eólica 10. La figura representada se aplica para una entrega de potencia activa elevada o normal. Para el intervalo de una entrega de potencia activa reducida se recurriría a otra función límite, en la que por ejemplo se aumenta el intervalo de trabajo del diagrama U-Q hacia la izquierda y derecha.

55

En el diagrama característico U-Q de la figura 3 se representa un posible punto de trabajo 16 de una turbina eólica 10. La tensión U se encuentra en 1,04 de la tensión nominal y se alimenta tanta potencia reactiva capacitiva que el punto de trabajo se encuentra directamente en el límite del diagrama característico U-Q. El punto de trabajo 16 puede conservarse cuando la turbina eólica 10 puede suministrar precisamente tanta potencia reactiva como es necesario.

60

65

- En otro caso la turbina eólica 10 debería suministrar en realidad más potencia reactiva para satisfacer la especificación de potencia reactiva, sin embargo no puede debido a un grado de utilización eléctrica elevado. Un aumento de la componente de potencia reactiva tendría como consecuencia un punto de trabajo fuera del diagrama característico U-Q y con ello fuera del intervalo admisible. En este caso la turbina eólica envía una comunicación sobre su grado de utilización eléctrica elevado al regulador de parque eólico 20. El regulador de parque eólico 20 puede reaccionar según el procedimiento según la invención conmutando el conmutador de tomas 13 por una etapa, de modo que disminuye la tensión en la red interna del parque eólico 11. El punto de trabajo 16 se convierte en el punto de trabajo 16a.
- El regulador de la turbina eólica determina que el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica en el punto de trabajo 16a ha disminuido en comparación con el punto de trabajo 16. En caso de que la potencia reactiva capacitiva en el punto de trabajo 16a no sea suficiente, entonces el regulador de la turbina eólica ajustaría el punto de trabajo 24. Por tanto, en el punto de trabajo 24 la turbina eólica, a diferencia del punto de trabajo 16, puede cumplir con una demanda de potencia reactiva capacitiva aumentada. Al mismo tiempo, el grado de utilización eléctrica en el punto de trabajo 24 es menor que en el punto de trabajo 16, porque el punto de trabajo 24 todavía tiene una distancia con respecto a los límites del diagrama característico U-Q. Por tanto, haciendo funcionar según la invención el conmutador de tomas 13 se desplaza el punto de trabajo de la turbina eólica inicialmente de tal modo que se reduce el grado de utilización eléctrica. Una parte del margen ganado de este modo se aprovecha para alimentar más potencia reactiva capacitiva.
- En el punto de trabajo 18 mostrado en la figura 4 la tensión U se encuentra en un 98% de la tensión nominal y se alimenta potencia reactiva inductiva a la red interna del parque eólico 11. En caso de que cambiara la especificación de potencia reactiva en el sentido de que la turbina eólica 10 deba alimentar menos potencia reactiva inductiva que hasta el momento, entonces la turbina eólica podría cumplir fácilmente con esta especificación. El regulador de la turbina eólica desplazaría el punto de trabajo 18 tal como se indica con la flecha 19 hacia la derecha. En cualquier momento es posible una disminución de la potencia reactiva alimentada hasta el eje  $Q = 0,0$ .
- Si por el contrario se demanda más potencia reactiva inductiva, entonces el regulador de la turbina eólica debe desplazar el punto de trabajo 18 más hacia la izquierda. Esto es posible dentro de unos determinados límites porque el punto de trabajo 18 tiene una distancia con respecto al límite del diagrama característico U-Q. La distancia indicada con 21 entre el punto de trabajo 18 y el límite del diagrama característico U-Q indica la reserva de potencia reactiva que todavía tiene la turbina eólica en el punto de trabajo 18. En caso de que la reserva de potencia reactiva sea demasiado reducida para cumplir con las especificaciones esperadas con respecto a potencia reactiva inductiva, entonces puede enviarse una comunicación correspondiente al regulador de parque eólico 20.
- En el parque eólico de la figura 1, en cada turbina eólica 10 está depositado un diagrama característico U-Q 17. A través de una línea de datos 22 el regulador de parque eólico 20 de cada turbina eólica 10 recibe una comunicación, cuando la turbina eólica 10 mediante el diagrama característico U-Q 17 determina un grado de utilización eléctrica aumentado. Como el conmutador de tomas 13 está sometido a un fuerte desgaste y por ello debe evitarse un número excesivo de operaciones de conmutación, en el procedimiento según la invención no se hace funcionar inmediatamente el conmutador de tomas 13, sólo porque una turbina eólica individual comunique un grado de utilización eléctrica elevado. Más bien se indican al regulador de parque eólico 20 criterios adecuados, mediante los cuales puede decidirse si el ahorro por la disminución del grado de utilización eléctrica de las turbinas eólicas 10 es mayor que la pérdida por el desgaste del conmutador de tomas 13.
- El parque eólico de la figura 1 comprende cinco turbinas eólicas 10. Puede ser conveniente hacer funcionar el conmutador de tomas 13 por ejemplo cuando el regulador de parque eólico 20 recibe de tres de las cinco turbinas eólicas una comunicación de un grado de utilización eléctrica aumentado. Alternativamente puede conmutarse el conmutador de tomas 13 cuando de dos de las turbinas eólicas llega la comunicación de que en el punto de trabajo actual están muy lejos de poder satisfacer la especificación de potencia reactiva. El regulador de parque eólico 20 deduce criterios adicionales a partir de la comparación de los valores reales de la tensión y de la componente reactiva en la red interna del parque eólico 11 con un diagrama característico U-Q 17 almacenado en el regulador de parque eólico 20.
- En caso de que el regulador de parque eólico 20 llegue al resultado de que es conveniente hacer funcionar el conmutador de tomas 13, entonces proporciona al conmutador de tomas 13 una especificación correspondiente. Mediante la conmutación del conmutador de tomas 13 cambia la relación de transformación entre la tensión de la red externa 14 y la tensión de la red interna del parque eólico 11, lo que lleva a que cambie la tensión en la red interna del parque eólico 11. Al mismo tiempo que la orden al conmutador de tomas 13 el regulador de parque eólico 20 transmite a las turbinas eólicas 10 valores teóricos nuevos para la tensión y/o la potencia reactiva, para que las turbinas eólicas estén informadas de que se trata de un cambio deseado en la red interna del parque eólico. De lo contrario los reguladores de las turbinas eólicas 10 intentarían actuar en contra del cambio.
- En la figura 5 se muestra un diagrama característico U-Q adicional que posibilita una reacción escalonada. En caso de que el punto de trabajo se encuentre en el intervalo interno 25 del diagrama característico U-Q, que está delimitado por la línea continua, entonces el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica es reducido, no son

- necesarias medidas para reducir el grado de utilización eléctrica. En caso de que el punto de trabajo se encuentre en el intervalo externo 23 del diagrama característico U-Q, entonces el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica si bien está aumentado, sin embargo todavía no es tan elevado para que sea necesaria una reacción inmediata. Durante un tiempo breve la turbina eólica puede hacerse funcionar con este punto de trabajo. Sólo
- 5 cuando durante un periodo de tiempo de por ejemplo más de 10 minutos no es posible un retorno del punto de trabajo al intervalo interno 25 se hace funcionar el conmutador de tomas 13. En caso de que, por el contrario, el punto de trabajo se encuentre fuera del intervalo externo 23, entonces la turbina eólica sufre una sobrecarga eléctrica y el conmutador de tomas 13 se hace funcionar inmediatamente.
- 10 En una forma de realización alternativa el conmutador de tomas 13 no se conmuta cuando el punto de trabajo se encuentra en el intervalo interno 25 del diagrama característico U-Q. En caso de que el punto de trabajo se encuentre en el intervalo externo 23 del diagrama característico U-Q, entonces el conmutador de tomas 13 se conmuta por una etapa. En un punto de trabajo fuera del intervalo externo 23 el conmutador de tomas 13 se conmuta en una operación de conmutación por dos etapas. En todos los casos el procedimiento según la invención
- 15 permite reducir el grado de utilización eléctrica de las turbinas eólicas.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para hacer funcionar un parque eólico, en el que se transporta la energía eléctrica generada en el parque eólico a través de una red interna del parque eólico (11) a una estación de transferencia (12) y en el que se transforma la energía eléctrica antes de la transferencia a una red externa (14) en una tensión, que es superior en una relación de transformación seleccionable a la tensión en la red interna del parque eólico (11), con las etapas de:
  - a. determinar un grado de utilización eléctrica de una turbina eólica (10) del parque eólico; y caracterizado por
  - b. ajustar la relación de transformación en función del grado de utilización eléctrica de la turbina eólica (10), en el que se modifica la relación de transformación en función de si un punto de trabajo presente de la turbina eólica ofrece una reserva de potencia reactiva en una medida suficiente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se determina el grado de utilización eléctrica de la turbina eólica (10) mediante comparación de la tensión U y una componente reactiva Q de la energía eléctrica generada en la turbina eólica (10) con un diagrama característico U-Q (17).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que mediante el diagrama característico U-Q (17) se determina una reserva de potencia reactiva (21) de la turbina eólica (10).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la relación de transformación sólo se modifica cuando el grado de utilización eléctrica en una pluralidad de turbinas eólicas (10) del parque eólico ha superado un límite predeterminado.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que con un cambio de la relación de transformación se indican a las turbinas eólicas (10) del parque eólico valores teóricos nuevos para la tensión y/o la componente reactiva.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que se lleva a cabo un ajuste fino del nivel de tensión en la red interna del parque eólico (11) mediante la conexión o desconexión de una fuente de potencia reactiva independiente de las turbinas eólicas (10).
7. Parque eólico con una estación de transferencia (12), a la que se transfiere la energía eléctrica generada en el parque eólico de una red interna del parque eólico (11) a una red externa (14), un conmutador de tomas (13) para ajustar la relación de transformación entre la tensión en la red interna del parque eólico (11) y la tensión en la red externa (14) y un regulador de parque eólico (20), que indica al conmutador de tomas una relación de transformación, caracterizado por que el regulador de parque eólico (20) indica al conmutador de tomas (13) la relación de transformación en función del grado de utilización eléctrica de una turbina eólica (10) del parque eólico, indicando el regulador de parque eólico (20) la relación de transformación en función de si un punto de trabajo presente de la turbina eólica (10) ofrece una reserva de potencia reactiva suficiente.
8. Parque eólico según la reivindicación 7, caracterizado por que está prevista una memoria de diagramas característicos y porque en la memoria de diagramas característicos está depositado un diagrama característico U-Q (17).
9. Parque eólico según la reivindicación 8, caracterizado por que una turbina eólica (10) del parque eólico comprende un módulo lógico, que compara la tensión U y la componente reactiva Q de la energía eléctrica entregada por la turbina eólica (10) con el diagrama característico U-Q (17).
10. Parque eólico según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado por que el regulador de parque eólico (20) comprende un módulo lógico, que compara la tensión U y la componente reactiva Q de la red interna del parque eólico (11) con el diagrama característico U-Q (17).
11. Parque eólico según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que el regulador de parque eólico (20) comprende un módulo de valoración, que mediante una entrega de potencia activa actual y/o un valor promedio de tensión y/o una magnitud de estado del conmutador de tomas (13) decide si se conmuta el conmutador de tomas (13).
12. Parque eólico según una de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que el conmutador de tomas (13) está diseñado para, en una operación de conmutación, realizar un cambio por varias etapas de conmutación.

13. Parque eólico según una de las reivindicaciones 7 a 12, caracterizado por que adicionalmente está prevista una fuente de potencia reactiva independiente de las turbinas eólicas (10) para influir en la tensión en la red interna del parque eólico (11).
- 5 14. Parque eólico según una de las reivindicaciones 7 a 13, caracterizado por que el parque eólico comprende una línea de conexión, a través de la que se transporta la energía eléctrica a la red externa (14), con un primer conmutador de tomas para ajustar la relación de transformación entre la tensión en la red interna del parque eólico (11) y la línea de conexión así como un segundo conmutador de tomas para ajustar la tensión entre la línea de conexión y la red externa, controlándose/regulándose el primer conmutador de tomas y el segundo conmutador de tomas mediante el regulador de parque eólico (20).
- 10



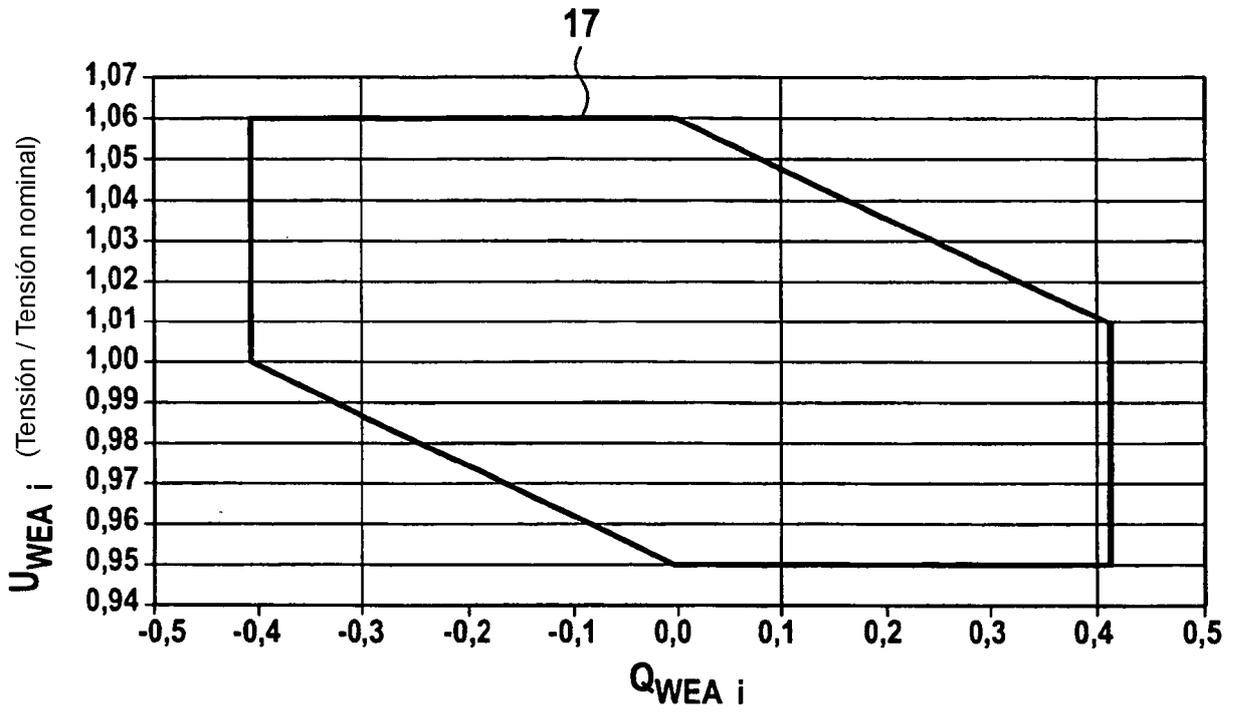


Fig. 2

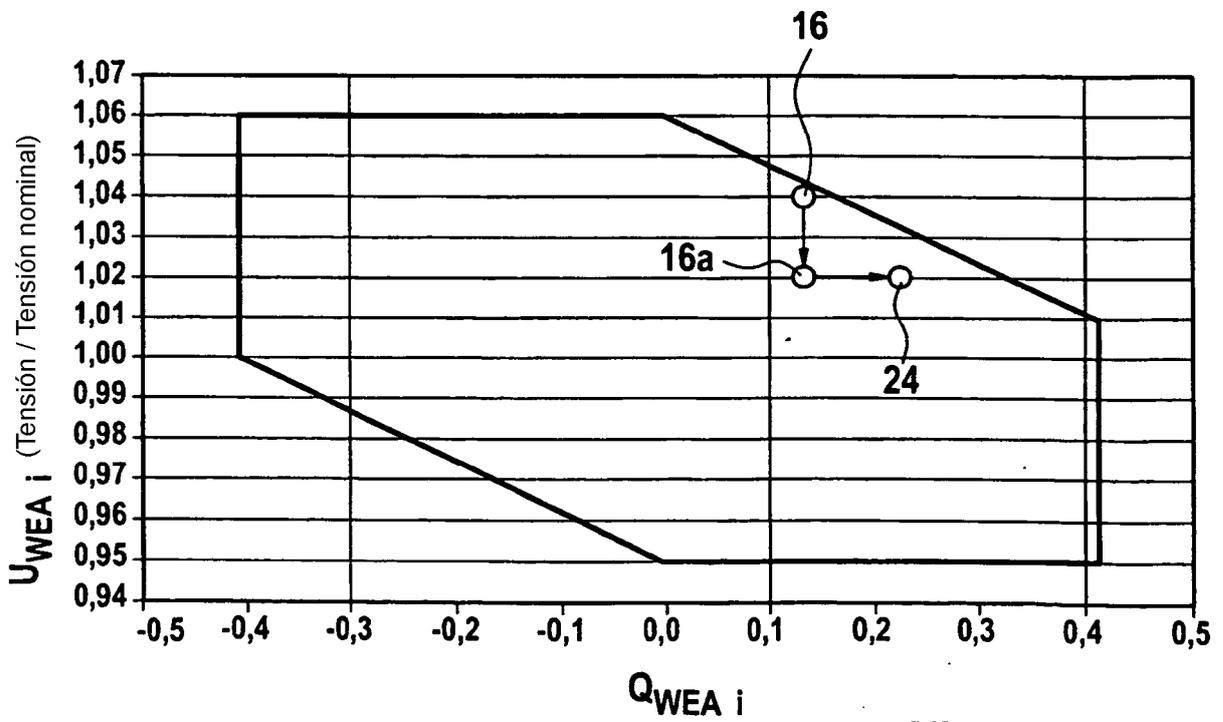


Fig. 3

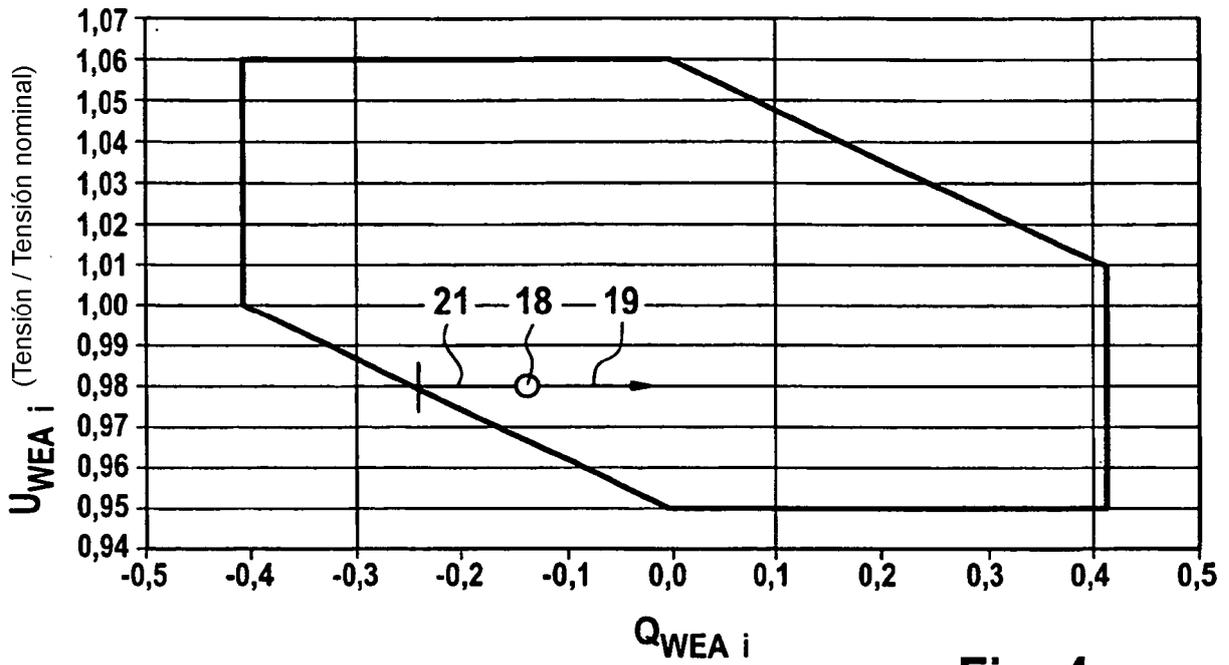


Fig. 4

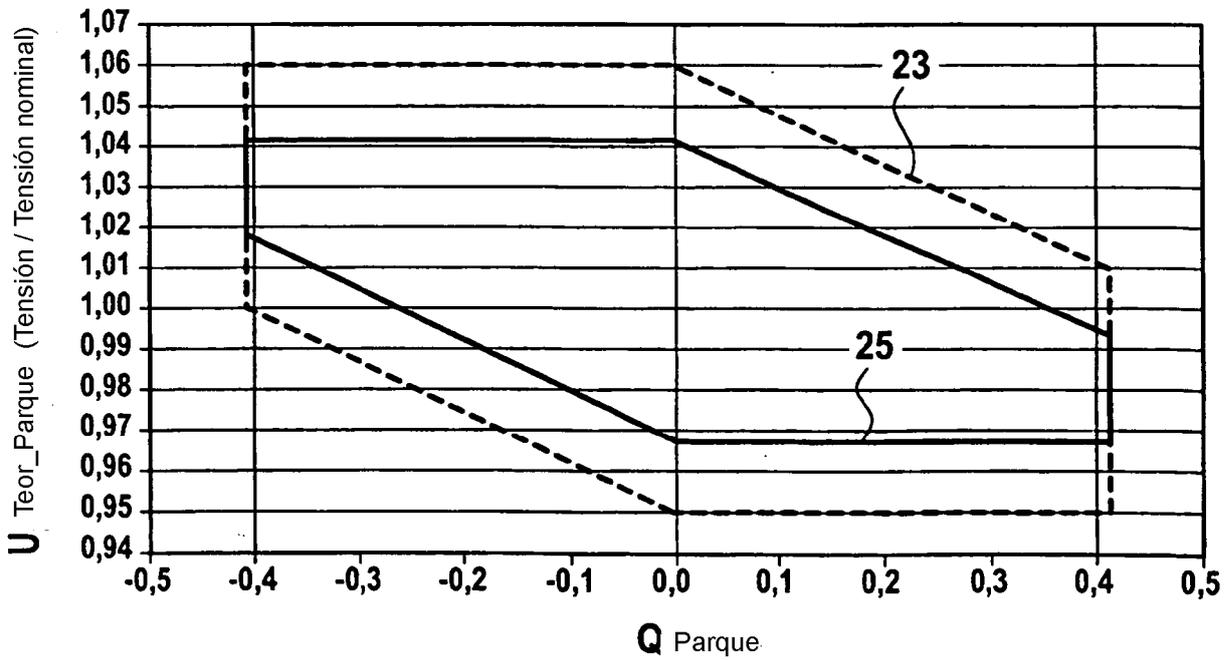


Fig. 5