

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 610**

51 Int. Cl.:

**H02M 5/45** (2006.01)

**H02M 5/458** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2007** **E 07021909 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019** **EP 1921738**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el funcionamiento de un convertidor, especialmente para aerogeneradores**

30 Prioridad:

**10.11.2006 DE 102006053367**

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

**23.03.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FORTMANN, JENS y  
KRETSCHMANN JÖRG,**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 749 610 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para el funcionamiento de un convertidor, especialmente para aerogeneradores

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para el funcionamiento de un convertidor, especialmente para aerogeneradores, con un generador accionado por medio de un rotor eólico para aportar energía eléctrica a una red, presentando el convertidor un circuito intermedio con un acumulador de energía asignado. Dicho más concretamente, se trata de, en caso de una perturbación brusca de la tensión, especialmente en caso de una caída de tensión en la red, reducir la energía almacenada en el acumulador de energía y aportar la energía del circuito intermedio a la red.

10 Los aerogeneradores modernos suelen ser de velocidad variable, por lo que el generador genera corriente alterna a diferentes frecuencias. Para alimentar una red de alimentación de frecuencia fija (normalmente 50 Hz), es necesaria una conversión de la frecuencia. Con esta finalidad se utilizan convertidores de frecuencia. Tradicionalmente, los aerogeneradores han funcionado de manera que se desconecten de la red en caso de fallos en la red, especialmente en caso de cortocircuitos. Sin embargo, con la creciente expansión de los aerogeneradores y el aumento de la capacidad eólica instalada, los operadores de red reclaman en su lugar un funcionamiento de los aerogeneradores apoyado en la red, en concreto, con respecto a la frecuencia y a la tensión.

15 En principio resultan dos aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta para satisfacer los requisitos de los operadores de la red. El primer aspecto consiste en que, en caso de una variación brusca de la tensión de red, debe limitarse un aumento de la tensión en el circuito intermedio, a fin de evitar una desconexión del convertidor. El segundo aspecto consiste en que la carga mecánica de la barra de tracción, que guía del rotor eólico al generador, debe reducirse todo lo posible con respecto a la altura y a la frecuencia como consecuencia de variaciones bruscas en la tensión de red.

20 En relación con el primer aspecto se conoce la posibilidad de disponer entre el generador y el convertidor un circuito especial que limita el aumento de la tensión en el circuito intermedio (WO-A-03/065567). También se propone limitar el aumento de la tensión con un interruptor periódico de circuito intermedio que, por regla general, está disponible de todos modos. Alternativamente también puede preverse reducir la tensión del circuito intermedio y las pérdidas mediante la disminución de la frecuencia de conmutación del convertidor, aumentando así la corriente del convertidor (WO-A-2005/027301). También se conoce la posibilidad (WO-A-2006/069569) de, como consecuencia de un fallo en la red, dejar descender la tensión en el circuito intermedio del convertidor hasta que finalmente se desconecten los elementos de conmutación del convertidor. Como resultado, el convertidor con su circuito intermedio están eléctricamente desconectados de la red y, por consiguiente, no pueden realizar ninguna aportación.

25 Se ha demostrado que las medidas conocidas sólo son eficaces con respecto a uno de los dos aspectos, pero no con respecto al otro. Por lo tanto, las medidas conocidas para la reducción del aumento de tensión dan lugar en la mayoría de los casos a un aumento de las cargas de la barra de tracción y a la inversa.

30 Partiendo del estado de la técnica citado en último lugar, la invención se basa en la tarea de proponer un procedimiento y un dispositivo para el funcionamiento de un convertidor con el que se consiga un mejor comportamiento.

35 La solución según la invención se basa en un procedimiento y en un dispositivo según las características de las reivindicaciones independientes. Las variantes perfeccionadas ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

40 En un procedimiento para el funcionamiento de un convertidor, especialmente para aerogeneradores, con un generador accionado por medio de un rotor eólico, para aportar energía eléctrica a una red incluso durante una perturbación brusca de la tensión, especialmente en caso de una caída de tensión en la red, comprendiendo el convertidor un circuito intermedio con un acumulador de energía asignado, se prevé según la invención una puesta a disposición de una capacidad de absorción de energía máxima posible en el acumulador de energía del circuito intermedio mediante una reducción específica del nivel de energía en el circuito intermedio a un valor bajo predeterminable del nivel de energía en dependencia de la capacidad del acumulador de energía, configurándose el acumulador de energía, después del descenso del nivel de energía, para la absorción de una cantidad de energía que se genera en el circuito intermedio al final de la perturbación brusca de la tensión.

45 La parte esencial de la invención consiste en la idea de reducir la energía almacenada en el circuito intermedio hasta tal punto que pueda reducirse tanto como sea posible la activación convencional de los dispositivos de protección del convertidor, como en particular un interruptor periódico de circuito intermedio o un circuito de protección (Crowbar) entre el generador y el convertidor, que se produce en caso de una perturbación brusca de la tensión. La invención lo consigue reduciendo específicamente la tensión (o la corriente) en el circuito intermedio, o más concretamente en su acumulador de energía principalmente capacitivo o inductivo, a fin de liberar suficiente capacidad de almacenamiento en función del nivel del salto de tensión, de manera que, en caso de restablecimiento de la tensión de red, se puedan absorber los picos de potencia que se producen al final de la perturbación brusca de la tensión. De este modo, es posible contrarrestar el peligro de un rebasamiento de los valores límite críticos en el circuito intermedio. La invención logra así una reducción de la frecuencia y de la duración de la activación de los

circuitos protectores del convertidor. Dicha reducción no sólo mejora la calidad de la energía eléctrica aportada a la red, sino que evita, en particular, las fluctuaciones del par perjudiciales y evitando, por lo tanto, la carga resultante de las fluctuaciones del par o el riesgo de que se produzcan daños en componentes como el generador y su barra de tracción. La invención mejora además la propiedad "Ride-through" en caso de una caída temporal y el retorno de la tensión de red, especialmente en caso de perturbaciones bruscas de la tensión de red.

El término "perturbación brusca de tensión" abarca tanto una reducción repentina de la tensión en la red, siendo el caso extremo un cortocircuito, como también un aumento repentino concretamente por encima de la banda de tolerancia prevista para el funcionamiento normal.

Por un pico de potencia se entiende una sobretensión transitoria, en especial inducida, o una sobrecorriente transitoria, en especial inducida.

Ciertamente se conoce la posibilidad de reducir la tensión en el circuito intermedio en caso de un cortocircuito (WO-A-2005/027301), no obstante esta reducción no se llevó a cabo con el único objetivo de proporcionar unas condiciones de funcionamiento más favorables en el convertidor para la aportación de energía eléctrica a la red durante el periodo de tiempo de la caída de tensión. No se tuvieron en cuenta las condiciones en caso de retorno de la tensión de red. Especialmente no se tuvo en cuenta si la tensión en el circuito intermedio se había reducido hasta tal punto que, al retornar la tensión de red, pudiera almacenarse energía suficiente en el acumulador de energía del circuito intermedio para disponer de una reserva suficiente, evitando así, en la medida de lo posible, un encendido del circuito Crowbar. Más bien, dependía de la casualidad que el retorno de la tensión se produjese tan lenta o tan repentinamente que se pudieran amortiguar o no las sobrecorrientes que se producían en el circuito intermedio. La invención asegura que, hasta el retorno de la tensión de red, esté disponible tanta capacidad de absorción de energía como sea posible en el circuito intermedio. Esto permite una clara mejora sorprendentemente sencilla del comportamiento de funcionamiento del convertidor y, como consecuencia, de todo el aerogenerador. Sin embargo, no sólo se mejora el comportamiento de funcionamiento, sino que también se consigue una protección de los componentes del aerogenerador.

Por regla general, el procedimiento se lleva a cabo de manera que la reducción según la invención al valor bajo durante la perturbación brusca de la tensión de red tenga lugar como una preparación para el retorno de la tensión de red. Dado que en la mayoría de los casos no se conoce el tiempo que va a pasar hasta el retorno de la tensión de red, la reducción al valor bajo según la invención se lleva a cabo de forma conveniente inmediatamente después de la detección de la perturbación de la tensión de red. Sin embargo, también es posible prever que la reducción tenga lugar como preparación para un fallo de la tensión de red que se producirá posteriormente. Esta variante preventiva ofrece la ventaja de que la capacidad libre ya está disponible al comienzo del fallo de red para la absorción de las sobrecorrientes. Preferiblemente, esto se lleva a cabo de manera que la reducción se realice una primera vez como preparación para la perturbación de la tensión de red prevista y una segunda vez (o más) después de haberse detectado la perturbación de la tensión de red. Por lo tanto, las ventajas según la invención no sólo se extienden al retorno de la tensión de red, sino que se pueden desarrollar ya al principio del fallo de red.

Según una realización especialmente preferida, el procedimiento según la invención se utiliza en un aerogenerador con un generador de doble alimentación. Precisamente este tipo de instalación es el que tradicionalmente causa grandes dificultades, dado que el par de bobinado estator/rotor actúa como un transformador, induciéndose así tensiones considerablemente más altas en el circuito del rotor que en el resto de la red. Generalmente se rebasan los valores límite para la tensión de salida del convertidor. Las corrientes a modo de cortocircuito en el rotor y en el estator pueden producirse como transientes. Esto puede tener como consecuencia una desconexión no deseada del convertidor por el lado de la máquina. Además, debido a las altas corrientes en el rotor, durante un corto periodo de tiempo se aporta al circuito intermedio una potencia activa superior a la potencia nominal, con lo que la tensión en el circuito intermedio aumenta de forma especialmente rápida e intensa. La frecuencia de conmutación y la intensidad de los circuitos protectores del convertidor y las consecuencias negativas resultantes para la calidad de la red y la carga mecánica de la barra de tracción eran correspondientemente elevadas. Estos efectos adversos pueden reducirse gracias a la aplicación de la invención a este tipo de instalación.

Convenientemente, el valor bajo al que se reduce la energía en el circuito intermedio se calcula conforme a la siguiente fórmula:

$$U_{DCMin} = \text{Max} \left( U_{\text{Red}} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{\text{Carga 1}}, U_{\text{Red}} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{N - N_{\text{Sin}}}{N_{\text{Sin}}} \cdot \omega_{21\text{Gener}} \cdot k_{\text{Carga 2}} \right)$$

siendo  $U_{\text{Red}}$  el valor efectivo de la tensión de red encadenada,  $N$  la velocidad,  $N_{\text{Sinc}}$  la velocidad síncrona,  $\omega_{21\text{Gener}}$  la relación del número de espiras entre el rotor y el estator del generador y  $k_{\text{Carga}}$  el factor dependiente de la carga.

La reducción del nivel de energía en el circuito intermedio al valor bajo se puede realizar de distintas maneras. Ésta se lleva a cabo preferiblemente mediante el control del ondulator por el lado de la red, a fin de conducir así de forma beneficiosa el exceso de energía en el circuito intermedio a la red. Si esto no es lo que se desea o no es posible porque no hay más tensión de red, el circuito del interruptor periódico puede activarse alternativamente hasta alcanzar el valor de energía deseado. Este procedimiento aprovecha el hecho de que de todos modos suele estar

disponible un circuito de interruptor periódico para la protección de los componentes. Éste puede utilizarse para reducir específicamente el nivel de energía en el circuito intermedio. No se requiere ningún hardware adicional.

El convertidor con circuito intermedio presenta normalmente una estructura en la que un ondulator por el lado del generador se conecta a un ondulator por el lado de la red a través del circuito intermedio. Este diseño tiene la ventaja de que permite un flujo de potencia en ambas direcciones, resultando, por lo tanto, especialmente adecuado como generador para máquinas asíncronas de doble alimentación. No obstante, no debe excluirse la posibilidad de configurar el ondulator por el lado del generador como rectificador. Si a continuación se habla del ondulator por el lado de la red, también se entiende un rectificador.

Para explicar la invención se parte además de la base de que, como es habitual, se prevé un circuito de interruptor periódico para la protección del generador y del convertidor. El término "circuito de interruptor periódico" debe entenderse en general, no limitándose a la realización más común como una especie de circuito de cortocircuito.

Después de producirse la caída de tensión, resulta aconsejable preestablecer para el ondulator por el lado de la red un valor teórico de tensión superior al valor de amplitud de la tensión de red caída. Preferiblemente, el valor teórico de tensión es como máximo un 15%, mas preferiblemente entre un 5% y un 10%, superior al valor de amplitud de la tensión de red caída. Mediante este control del ondulator se consigue que la corriente masiva del circuito intermedio se pueda aportar a la red, ajustándose una baja tensión en el circuito intermedio en dependencia del valor teórico de tensión.

No obstante, puede preverse que el ondulator por el lado del generador se desactive durante el fallo de tensión hasta que la tensión en la red alcance de nuevo un valor predeterminado de la tensión teórica de red. Este procedimiento no sólo tiene la ventaja de que se reduce considerablemente la probabilidad de rebasar los límites críticos en el circuito intermedio. También tiene la ventaja de que, dependiendo del nivel del salto de tensión, sólo una pequeña cantidad de energía fluye desde el generador hacia el circuito intermedio, de manera que sólo sea necesario conducir una pequeña cantidad de energía para reducir el nivel de energía en el circuito intermedio al valor bajo. Esto resulta especialmente ventajoso si la perturbación brusca de tensión es un aumento de la tensión. Independientemente de esto, una reconexión del ondulator por el lado del generador sólo se lleva a cabo de un modo adecuado después de haber transcurrido un período de tiempo mínimo, de manera que los procesos de compensación causados por una activación del Crowbar puedan disminuir.

Convenientemente, como circuito intermedio se utiliza un circuito intermedio de tensión continua con un condensador como acumulador de energía. Sin embargo, esto no es absolutamente necesario. Si se desea, también se puede prever realizar el circuito intermedio como un circuito intermedio de corriente continua con una bobina como acumulador de energía.

La invención se refiere además a un dispositivo con las características de la reivindicación de dispositivo independiente. Éste comprende como núcleo un módulo de valor teórico previsto para el ajuste del nivel de la energía almacenada en el circuito intermedio. En relación con descripciones más detalladas y con otras configuraciones ventajosas, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

La invención se describe a continuación con referencia al dibujo adjunto, en el que se representa un ejemplo de realización ventajoso. Se muestra en la:

Figura 1 una representación sinóptica esquemática de un aerogenerador conectado a una red de alimentación eléctrica según la invención; y

Figura 2 una vista del circuito de un convertidor del aerogenerador en la figura 1;

Figura 3 un diagrama con curvas de tiempo de tensión en caso de una caída de tensión en la red sin la invención; y

Figura 4 un diagrama con curvas de tiempo de tensión en caso de una caída de tensión en la red según la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente un aerogenerador configurado para la realización de la invención y dotado del número de referencia 1. El aerogenerador 1 presenta, de un modo ya conocido, una góndola 11 dispuesta de forma pivotante en una torre 10. En su cara frontal se dispone un rotor eólico 2 con posibilidad de giro. Éste acciona a través de un eje de rotor un generador 3 que se realiza preferiblemente como una máquina asíncrona de doble alimentación con una bobina de rotor y estator de varios haces. La bobina de estator del generador 3 se conecta directamente a un cable de conexión de varios haces 18 del aerogenerador 1. La bobina de rotor (no representada) se conecta a un ondulator 41 (por el lado del generador) de un convertidor 4; un circuito de interruptor periódico 40 se conecta en paralelo a la bobina de rotor como circuito protector de convertidor. Con su ondulator 48 (por el lado de la red), el convertidor 4 se conecta al cable de conexión 18. Se prevé además un control 5 para el funcionamiento del convertidor 4.

La energía eléctrica generada por el generador 3 se conduce a través del cable de conexión 18 a un transformador 19. Éste se configura para convertir la tensión suministrada por el aerogenerador 1 del plano de baja tensión al plano de tensión de la red de media tensión 9. El transformador 19 puede transmitir tanto la potencia de un solo aerogenerador 1, como también la potencia de una serie de aerogeneradores (parque eólico).

La figura 2 muestra el diagrama esquemático del convertidor 4. El mismo presenta como componentes principales un convertidor por el lado del generador 41, un ondulator por el lado de la red 48 y un circuito intermedio capacitivo

42. Los onduladores 41, 48 del convertidor 4 se configuran con conmutadores semiconductores con capacidad de autoapagado (en el ejemplo representado IGBT 411, 481 con una tensión de estado de no conducción de 1700 V) más diodos antiparalelos de corriente inversa 412, 482. Esta variante de realización permite una transmisión de la potencia activa en ambas direcciones, pudiendo intercambiar ambos convertidores 41, 48 potencia reactiva adicionalmente y de forma independiente uno de otro con el generador o con la red. El control del IGBT 411, 481 se realiza por medio del control 5 de un modo en sí conocido, por lo que a este respecto no es necesaria una descripción más detallada.

El circuito intermedio 42 se configura como un circuito intermedio de tensión continua. El mismo se compone de una serie de condensadores en una conexión en paralelo y en serie (en el ejemplo con una tensión nominal de 1100 V) como acumulador de energía 43. Hay que hacer constar que, en caso de un circuito intermedio de corriente continua, se prevén de forma correspondiente bobinas.

Al circuito intermedio 42 se le asigna además un interruptor periódico de circuito intermedio 45. Éste sirve para reducir de forma controlada la energía almacenada en el circuito intermedio 42. El mismo comprende un IGBT 451 y un diodo de protección antiparalelo 452 conectados en serie a una resistencia de carga 453 con una inductancia de carga 454. Al activar el interruptor periódico del circuito intermedio 45, la energía contenida en el circuito intermedio 42, almacenada fundamentalmente en el acumulador de energía 43, se reduce rápidamente. De este modo, se puede contrarrestar eficazmente un aumento de la tensión en la circuito intermedio 42 a valores por encima del punto crítico. Así es posible limitar la tensión del circuito intermedio si durante un corto período de tiempo se producen en el ondulator por el lado del generador 41 aumentos de la potencia activa elevados que no pueden ser absorbidos por el ondulator del lado de la red 48 a la misma velocidad de aumento. Esto es así especialmente en el caso de cambios bruscos en la tensión de red. Si la potencia del interruptor periódico del circuito intermedio 45 tampoco es suficiente para cubrir la potencia activa diferencial presente durante un corto período de tiempo de ambos onduladores 41, 48, el circuito Crowbar 40 se activa de un modo en sí conocido. Éste impide la aportación de potencia activa desde el ondulator por el lado del generador mediante un cortocircuito de la bobina de rotor.

En el control 5 se configura un módulo de control especial 51 para el control del interruptor periódico de circuito intermedio 45. A continuación se explica su función más detalladamente. El mismo emite en su salida impulsos de conmutación para el interruptor periódico de circuito intermedio 45, de manera que éste conmute (se encienda) o no en dependencia de la señal de salida.

El módulo de valor teórico 51 presenta una entrada a la que se conecta un dispositivo de medición de tensión 50 para la tensión en el circuito intermedio 42. También presenta una entrada opcional en la que se puede ajustar un valor para un tiempo de pausa deseado. En este caso, por un tiempo de pausa se entiende un período de tiempo que debe transcurrir hasta que el convertidor 4, más concretamente el ondulator por el lado de la red 48, vuelva a aportar energía a la red al final de la perturbación brusca de tensión. Este período de tiempo se denomina  $T_s$ . Para este período de tiempo se puede utilizar un valor empírico (por ejemplo, 10 milisegundos) que se puede implementar, en su caso, de forma permanente. Como período de tiempo también se puede utilizar un así llamado tiempo de orientación que indica el tiempo que necesita el ondulator 48 para sincronizarse de nuevo con la red. El módulo de valor teórico 51 se configura para, en dependencia de la duración y de una sobrecorriente que se produce al final de la perturbación brusca de tensión (por ejemplo, retorno de la tensión de red después de una caída o en caso de cortocircuito) del rotor 3 al circuito intermedio 42 del convertidor 4, calcular una cantidad de carga o una cantidad de energía que debe absorberse en el circuito intermedio 42. Para que esta cantidad de carga/energía pueda absorberse en el circuito intermedio 42 sin rebasar los valores límite críticos, el módulo de valor teórico 51 determina un valor bajo al que se descarga el acumulador de energía 43 del circuito intermedio 42 después del inicio del fallo de tensión, de manera que quede capacidad suficiente para la absorción de la cantidad de carga/energía que se produce en el retorno de la tensión. El módulo de valor teórico 51 se configura además para controlar el interruptor periódico del circuito intermedio 45 de manera que, en caso de detectar una perturbación brusca de tensión en la red 9, el acumulador de energía 43 del circuito intermedio 42 se descargue al valor bajo. En el caso del circuito intermedio capacitivo 42 representado en el ejemplo, esto se lleva a cabo mediante una reducción de la tensión del circuito intermedio. Los condensadores del acumulador de energía 43 se descargan hasta que se pueda absorber potencia activa adicional durante un período de tiempo limitado. Este tipo de almacenamiento de energía no sería posible sin la descarga al valor bajo según la invención. Por consiguiente se consigue, por una parte, descargar el interruptor periódico del circuito intermedio 45 y, por otra parte, reducir la probabilidad de una activación del circuito Crowbar 40. Gracias a la invención se puede contrarrestar el peligro de vibraciones perjudiciales en la cadena cinemática debida especialmente a las fluctuaciones del par de frenado eléctrico mediante el encendido del circuito Crowbar 40 al final de la perturbación brusca de tensión y el retorno de la tensión de red a su rango normal.

No depende de si ya se ha alcanzado o no la tensión nominal completa en el caso de la finalización del retorno de la tensión y de la reducción de las sobrecorrientes condicionadas en el circuito intermedio 42. Si ésta se ha alcanzado, el ondulator por el lado de la red 48 puede empezar inmediatamente a aportar energía eléctrica a la red 9. Si aún no se ha alcanzado, el circuito intermedio 42 se carga de un modo convencional a través del rectificador 41 hasta alcanzar la tensión nominal (normalmente 1100 voltios), aportando el ondulator por el lado de la red 48 energías a la red 9 de un modo normal.

En las figuras 3 y 4 se representan evoluciones temporales de las tensiones en la red y en el circuito intermedio, así como la actividad del circuito Crowbar 40 en caso de una caída de tensión de red como una perturbación brusca de tensión. Se supone que en el momento  $t=0,1$  segundos, la tensión de red desciende bruscamente en un valor de aproximadamente el 30% de la tensión teórica. Unos 150 milisegundos más tarde, en el momento  $t=0,25$  segundos, la tensión de red vuelve de nuevo. La evolución de la tensión de red se representa en una curva superior a) en la figura 4. Por medio de un detector de tensión integrado en el dispositivo de control 5 se puede generar una señal de caída correspondiente (véase curva b). En la curva c) se representa con una línea continua la tensión real en el circuito intermedio 42. Se puede ver que al principio de la caída de la tensión se produce un ligero aumento de tensión. Este aumento de tensión continuaría y podría dar lugar a daños en los componentes si el circuito Crowbar 40 no se hubiera encendido para su protección (véase curva d). Gracias a la actividad del circuito Crowbar 40 se contrarresta un aumento excesivo de la tensión en el circuito intermedio. La tensión en el circuito intermedio 42 desciende hasta que finalmente alcanza un valor ligeramente inferior al valor teórico, desconectándose el circuito Crowbar. La tensión en el circuito intermedio 42 puede volver a subir lentamente hasta su valor teórico (curva discontinua c). Un acumulador de energía dispuesto en el circuito intermedio 42 también se carga de forma correspondiente a un valor energético normal. Así se alcanza un estado prácticamente estacionario que puede durar hasta el final de la caída de tensión. Si la tensión de red retorna ( $t=0,25$  segundos, véase figura a), se induce (como se ha explicado antes) una tensión alta en el circuito de rotor del generador de doble alimentación. La tensión en el circuito intermedio 42 aumenta en consecuencia (véase curva c) hasta que finalmente el circuito Crowbar se enciende para la protección de los componentes contra una sobrecarga (véase curva d). La tensión real en el circuito intermedio 42 desciende debido a la activación del circuito Crowbar hasta volver a alcanzar un valor ligeramente inferior a la tensión teórica, desconectándose el circuito Crowbar. Con el retorno de la tensión de red, también se desactiva de forma correspondiente la señal de detección para la caída de tensión (véase curva b).

En la figura 4 se representan las evoluciones temporales correspondientes para las tensiones y las señales en un dispositivo y un procedimiento según la invención. De nuevo, en el momento  $t=0,1$  segundos, la tensión de red cae (curva a). La tensión real en el circuito intermedio 42 aumenta de forma correspondiente, por lo que el circuito Crowbar 40 se enciende como protección contra una sobretensión perjudicial. En la curva b) se representa la señal de detección emitida por el circuito detector para la caída de tensión. El desarrollo de la tensión en el circuito intermedio corresponde inicialmente al representado en la figura 3. La tensión aumenta en primer lugar hasta que se enciende el circuito Crowbar 40 y, finalmente, se desconecta si la tensión real (curva continua) en el circuito intermedio 42 ha descendido a un valor inferior a la tensión teórica original. Debido a la caída de tensión detectada (curva b), el módulo de valor teórico 51 según la invención determina un nivel de energía inferior para el circuito intermedio 42. En el caso del ejemplo de realización representado se trata de un circuito intermedio de tensión, de manera que como valor de salida se emita una tensión teórica (curva discontinua) (véase curva discontinua c). Ésta es sólo algo superior al 60% de la tensión original en el circuito intermedio 42. Esto significa que la energía almacenada en el acumulador de energía 43 del circuito intermedio 42 se reduce a un valor bajo que sólo es del 36% aproximadamente del valor original. Así, en el acumulador de energía 43 queda libre una capacidad considerable para absorber las sobrecorrientes que se producen en el circuito intermedio 42 al retornar la tensión de red. Durante la duración de la caída de tensión en la red, la tensión real en el circuito intermedio (curva continua c) disminuye gradualmente al valor bajo para la tensión teórica (curva discontinua c) emitida por el módulo de valor teórico 051. En el momento en el que la tensión retorna a la red (con  $t=0,25$  segundos), la tensión en el circuito intermedio 42 aumenta rápidamente debido a la transmisión de tensión en el circuito de rotor del generador de doble alimentación. Sin embargo, dado que el acumulador de energía 43 se descarga a su valor bajo, su capacidad libre puede aprovecharse para absorber la mayor cantidad posible de la energía introducida en el acumulador de energía 43 como consecuencia del salto de tensión en el circuito intermedio 42. Con una capacidad libre suficiente en el acumulador de energía 43, esto tiene el efecto deseado de un aumento de la tensión real en el circuito intermedio 42 al retornar a la red, pero sin rebasar el nivel teórico original. De este modo se puede evitar en muchos casos un encendido del circuito Crowbar 40. A medida que avanza el proceso, la tensión real en el circuito intermedio 42 vuelve a aproximarse gradualmente al valor original, aumentando de nuevo el valor teórico gradualmente hasta el valor teórico nominal. El convertidor 4 puede entonces volver al modo de regulación y aportar energía a la red eléctrica.

Gracias a la tensión teórica en el circuito intermedio 42 reducida a un valor bajo, el condensador se descarga como acumulador de energía 43 en el circuito intermedio de tensión continua 42 hasta tal punto que, dependiendo de la magnitud de la caída de tensión, pueda absorber total o al menos parcialmente las sobrecorrientes que se producen en el retorno. De este modo se puede contrarrestar un encendido del circuito Crowbar al retornar la tensión de red. Así es posible reducir las cargas no deseadas debidas a las fluctuaciones del par en el generador 3 y en la cadena cinemática que conduce al rotor eólico 2.

Para el funcionamiento de la invención no es importante si el ondulador por el lado de la máquina 41 en la fase inicial de la caída de tensión vuelve a aportar inmediatamente energía eléctrica al circuito intermedio 42 después de la reducción de la actividad del circuito Crowbar 40, ni si la realimentación se retrasa hasta que la tensión de red alcanza de nuevo un valor más alto definido (de, por ejemplo, un 90% de la tensión teórica de red). Un retardo tiene la ventaja de que las sobrecorrientes que se generan al retornar la tensión y, como consecuencia, la alimentación resultante del circuito intermedio 42 a través de los diodos de corriente de retorno 412 son menores, por lo que el interruptor periódico del circuito intermedio 45 sólo está ligeramente cargado y, por este motivo, puede dimensionarse pequeño.

5 Finalmente hay que indicar que el propio interruptor periódico del circuito intermedio 45 es opcional para la invención. La evacuación de la energía según la invención del circuito intermedio 42 para alcanzar un valor bajo puede llevarse a cabo mediante un control adecuado del ondulator por el lado de la red 48 (la representación en la figura 4 se basa en este caso). Aunque esto presupone que aún existe una cierta tensión residual en la red, lo mismo suele ocurrir con los aerogeneradores conectados a través de un transformador de media tensión 19 en caso de cortocircuito. No obstante, también puede preverse un dimensionamiento mayor del interruptor periódico de circuito intermedio 45, de manera que también pueda funcionar como circuito Crowbar 40. En este caso, se puede prescindir del circuito Crowbar externo 40. De este modo se reducen costes. Sin embargo, hay que hacer constar que en este caso al menos los diodos de corriente de retorno 412 del ondulator por el lado del generador 41 deben dimensionarse de forma correspondiente.

10 El funcionamiento según la invención puede resumirse como sigue. Dependiendo de un punto de funcionamiento de la tensión de red y de la velocidad del generador, se determina un valor teórico lo más bajo posible y se ajusta como valor bajo para la energía en el circuito intermedio. Así, en muchos puntos de funcionamiento (especialmente después de la caída de la tensión de la red) se ajusta una cantidad de energía claramente menor del circuito intermedio en comparación con el valor nominal. Mediante una variación brusca de la tensión de red a lo largo del tiempo, la potencia transitoria se conduce al circuito intermedio, pudiendo ser absorbida en parte por el acumulador de energía de acuerdo con la cantidad de energía previamente reducida del circuito intermedio. Especialmente la reducción de la tensión del circuito intermedio en relación con el valor nominal durante un fallo de red (como preparación para el retorno de la tensión de red) provoca una reducción de la frecuencia de la actividad del circuito protector del convertidor en función del nivel y de la velocidad del aumento a la que retorna la tensión de red. Así se reduce el nivel de carga mecánica de la barra de tracción del aerogenerador como consecuencia directa o indirecta de variaciones bruscas en la tensión de red o se reduce la frecuencia de las cargas mecánicas, en especial después de variaciones de tensión con unos niveles bajos y/o unas velocidades de aumento reducidas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un convertidor, especialmente para aerogeneradores, con un generador (3) accionado por medio de un rotor eólico (2) para aportar energía eléctrica a una red (9) incluso durante una perturbación brusca de tensión, especialmente una caída de tensión en la red (9), presentando el convertidor (4) un circuito intermedio (42) con un acumulador de energía asignado (43), caracterizado por la puesta a disposición de una capacidad de absorción de energía máxima posible en el acumulador de energía (43) del circuito intermedio (42) mediante una reducción específica del nivel de energía en el circuito intermedio (42) a un valor bajo predeterminable del nivel de energía en dependencia de la capacidad del acumulador de energía (43), configurándose el acumulador de energía (43), después del descenso del nivel de energía, para la absorción de una cantidad de energía que se genera en el circuito intermedio (42) al final de la perturbación brusca de la tensión.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por la reducción del nivel de energía mediante el control de un interruptor periódico del circuito intermedio (45) hasta alcanzar el valor bajo.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que para un ondulator por el lado de red (48) del convertidor (4) se preestablece un valor teórico de tensión del circuito intermedio que provoca una descarga del acumulador de energía (43) al valor bajo.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el valor teórico de tensión del circuito intermedio se elige de manera que, en caso de una caída de tensión, sea superior a la tensión en la red (9), en concreto preferiblemente en un 15% como máximo.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el ondulator por el lado del generador (41) se conecta de nuevo después de su desactivación durante el fallo de red si se ha alcanzado el valor bajo en el circuito intermedio (42).
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que la reconexión sólo se lleva a cabo después de haber transcurrido un tiempo mínimo desde la activación de un circuito protector de convertidor (40).
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la conexión del ondulator por el lado del generador (41) se retrasa hasta que la tensión en la red (9) ha alcanzado un valor predeterminado de preferiblemente un 40-80% de la tensión teórica de red.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por el uso de un circuito intermedio de tensión continua (42) con un condensador como acumulador de energía (43).
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que el valor bajo se calcula como una tensión según la fórmula
- $$U_{DCMin} = \text{Max} \left( U_{Red} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{Carga 1}, U_{Red} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{N - N_{Sin}}{N_{Sin}} \cdot \omega_{21Gener} \cdot k_{Carga 2} \right)$$
- 40 siendo  $U_{Red}$  el valor efectivo de la tensión de red encadenada, N la velocidad,  $N_{Sinc}$  la velocidad síncrona,  $\omega_{21Gener}$  la relación del número de espiras entre el rotor y el estator del generador y  $K_{Carga}$  el factor dependiente de la carga.
- 45 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1, 2 o 5 a 7, caracterizado por el uso de un circuito intermedio de corriente continua con una bobina como acumulador de energía.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por la determinación y la reducción a un valor bajo antes de la detección de una perturbación brusca prevista de la tensión.
- 50 12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por una nueva determinación y reducción después de la detección de la perturbación brusca de la tensión.
- 55 13. Convertidor, especialmente para aerogeneradores, con un generador (3) accionado por medio de un rotor eólico (2) para aportar energía eléctrica a una red (9) incluso durante una perturbación brusca de la tensión, especialmente una caída de tensión en la red (9), presentando el convertidor (4) un circuito intermedio (42) con un acumulador de energía (43) y previéndose un dispositivo de control (5), caracterizado por que el dispositivo de control (5) presenta un módulo de valor teórico (51) para el ajuste de un nivel de energía en el circuito intermedio (42) configurado para poner a disposición una capacidad de absorción de energía máxima posible en el acumulador de energía (43) del circuito intermedio (42) mediante una reducción específica del nivel de energía a un valor bajo predeterminable en dependencia de una capacidad del acumulador de energía (43) en el circuito intermedio (42), configurándose el acumulador de energía (43) para, después de la reducción del nivel de energía, absorber una cantidad de energía que se genera al final de una perturbación brusca de la tensión.
- 60

14. Convertidor según la reivindicación 13, caracterizado por que el módulo de valor teórico (51) se configura para determinar un valor teórico de tensión para un ondulator por el lado de la red (48) del convertidor (4) que provoca una descarga del acumulador de energía (43) al valor bajo.

5 15. Convertidor según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que el circuito intermedio (42) es un circuito intermedio de tensión continua con un condensador como acumulador de energía (43).

16. Convertidor según la reivindicación 15, caracterizado por que el valor bajo es una tensión según la fórmula

$$U_{DCMin} = \text{Max} \left( U_{Red} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{Carga\ 1}, U_{Red} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{N - N_{Sin}}{N_{Sin}} \cdot \omega_{21Gener} \cdot k_{Carga\ 2} \right)$$

10 siendo  $U_{Red}$  el valor efectivo de la tensión de red encadenada,  $N$  la velocidad,  $N_{Sin}$  la velocidad síncrona,  $\omega_{21Gener}$  la relación del número de espiras entre el rotor y el estator del generador y  $k_{Carga}$  el factor dependiente de la carga.

17. Convertidor según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que el circuito intermedio es un circuito intermedio de corriente continua con una bobina como acumulador de energía.

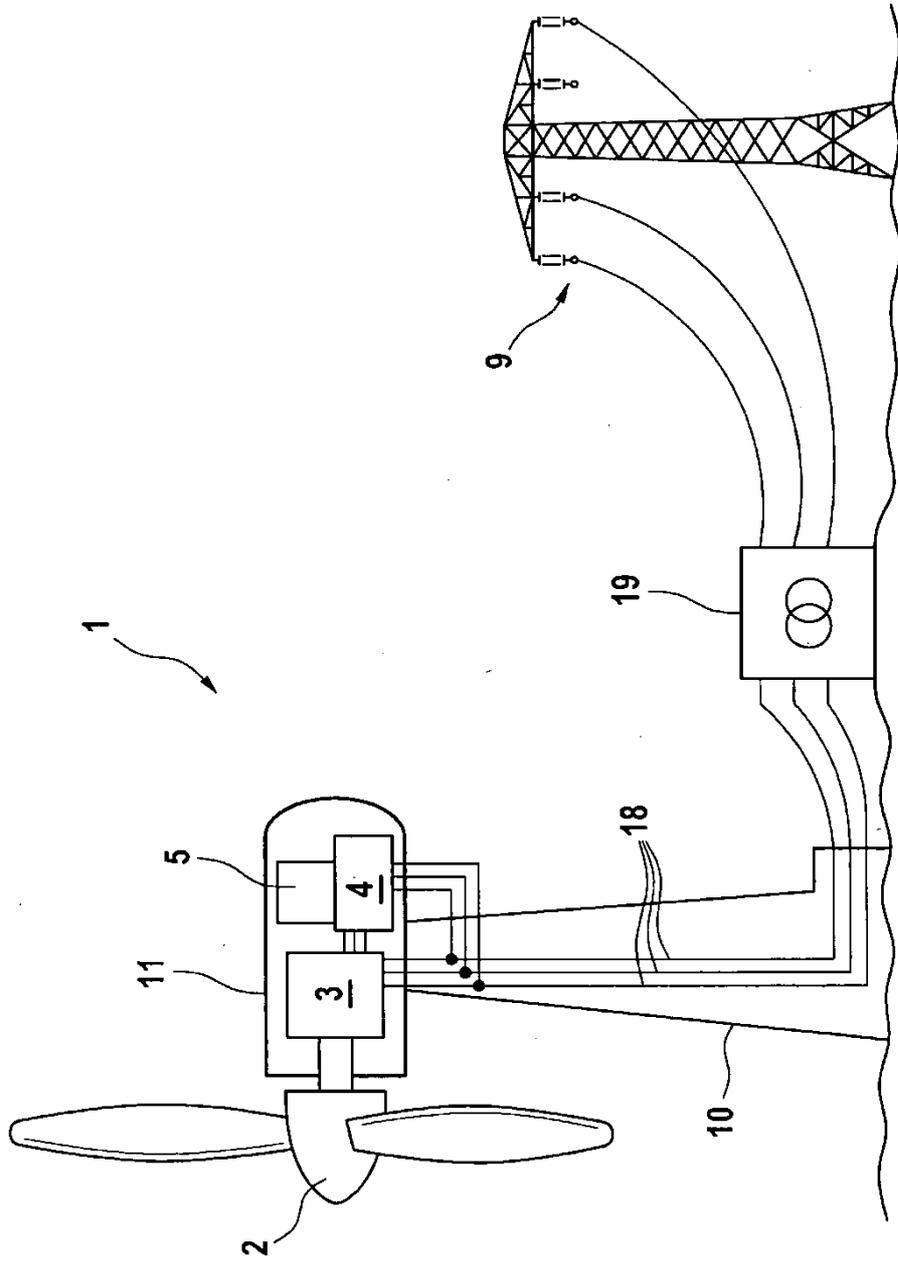


Fig. 1

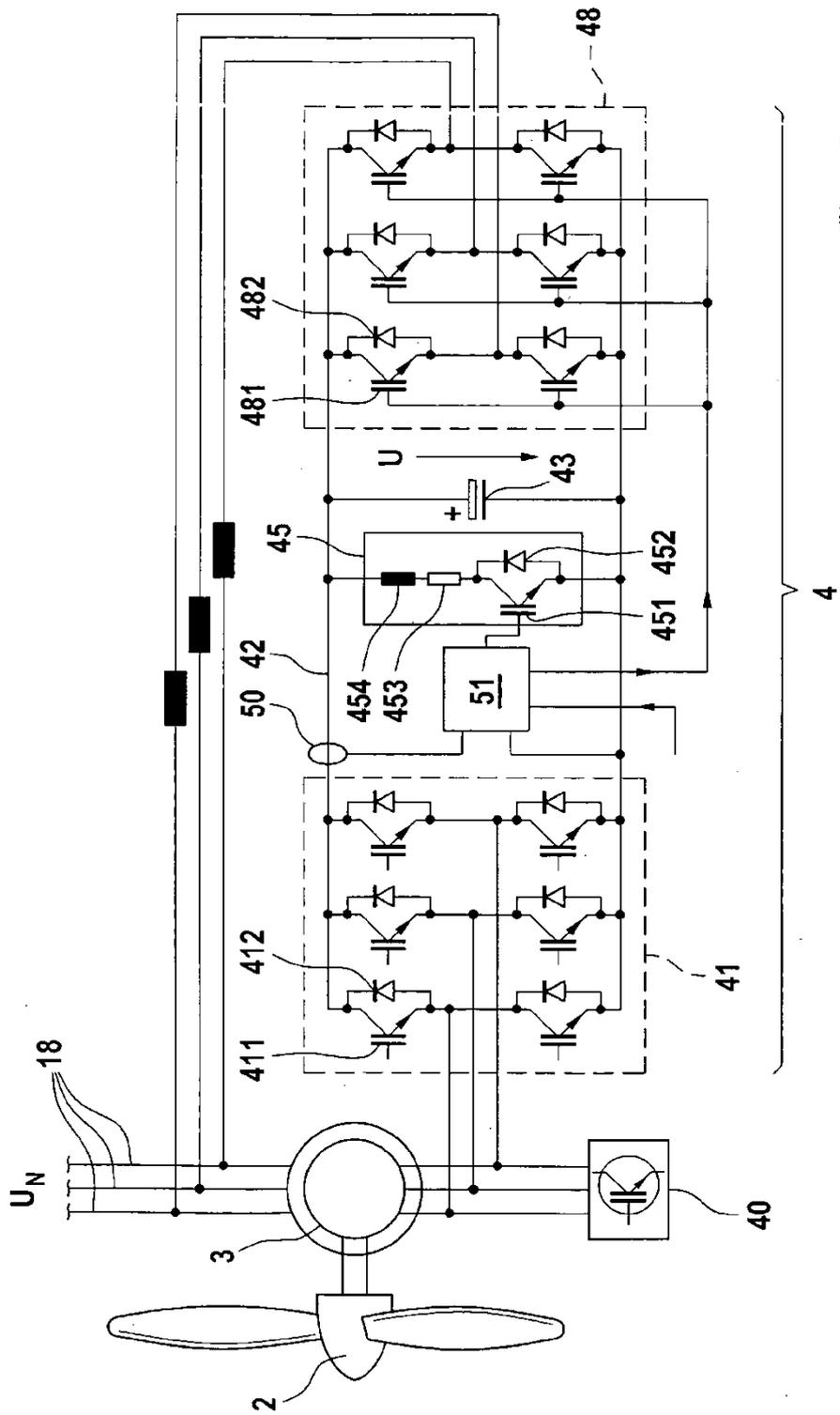


Fig. 2

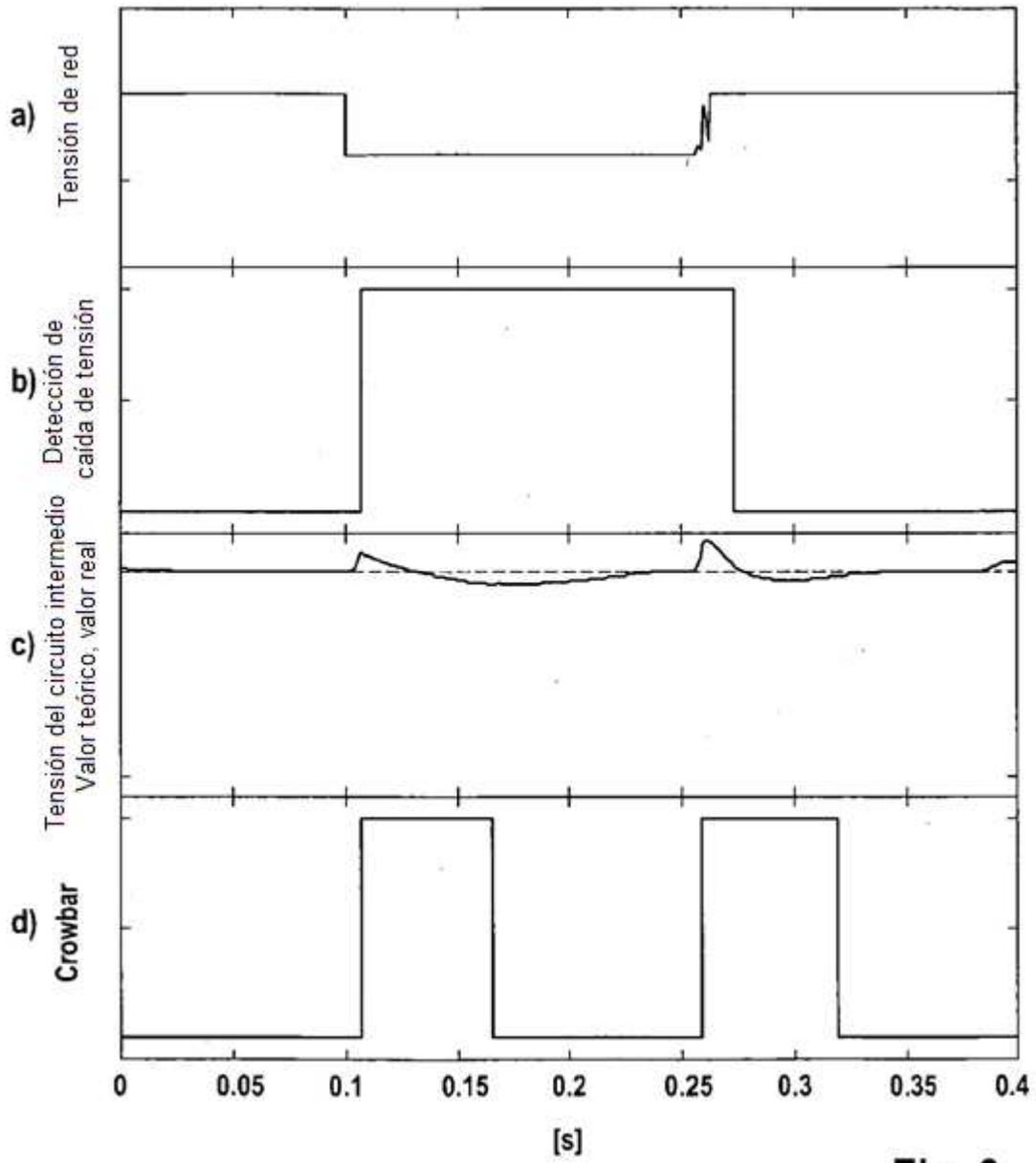


Fig. 3

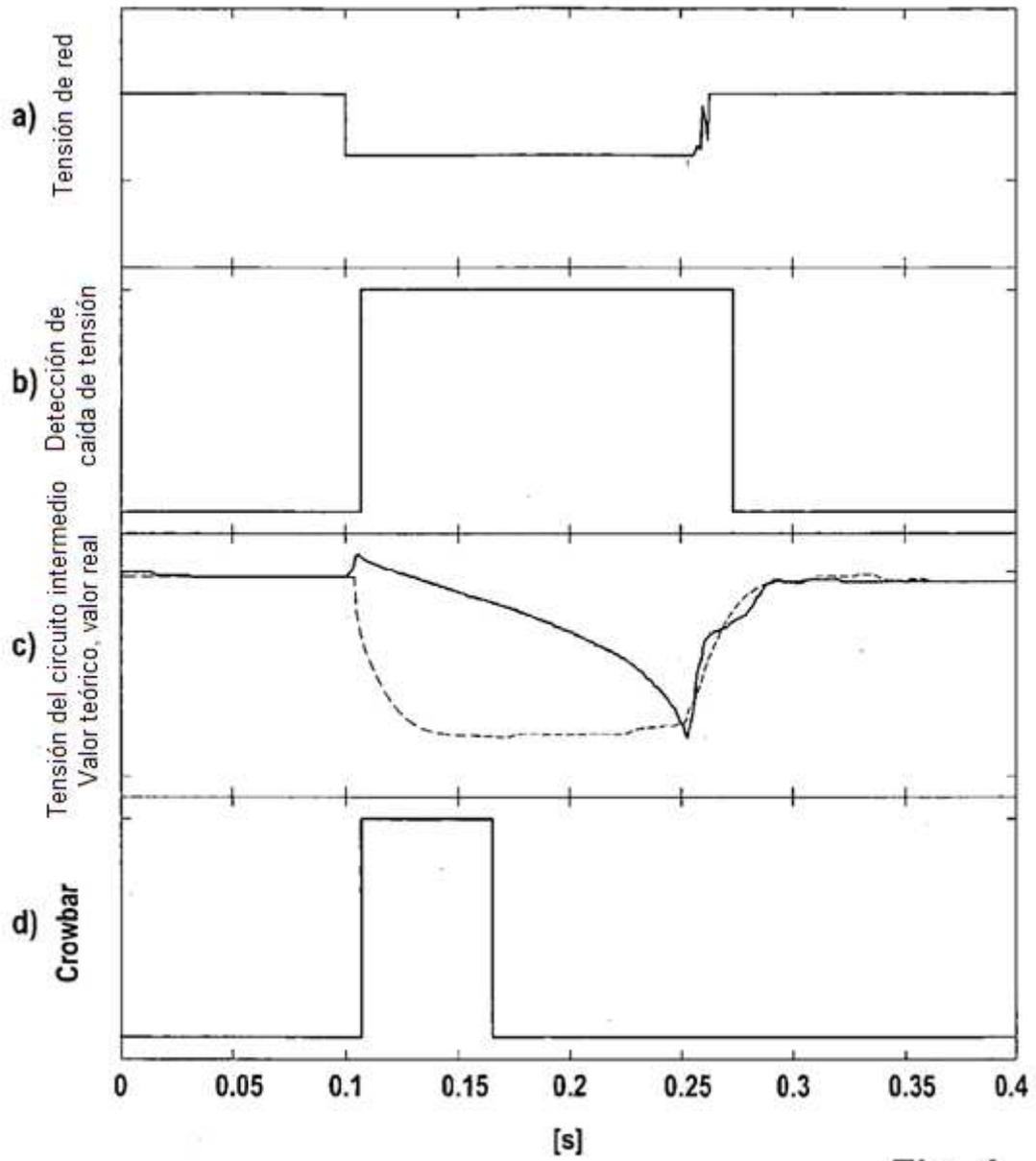


Fig. 4