



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 291 103**

⑫ Número de solicitud: 200503242

⑬ Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **30.12.2005**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2008**

Fecha de la concesión: **30.12.2008**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **01.02.2009**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.02.2009

⑲ Titular/es: **Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadía, s/n
31006 Pamplona, Navarra, ES**

⑳ Inventor/es: **López Taberna, Jesús;
Marroyo Palomo, Luis María;
Sanchís Gurpide, Pablo y
Gubía Villabona, Eugenio**

㉑ Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

㉒ Título: **Método y sistema de control del convertidor de una instalación de generación eléctrica conectada a una red eléctrica ante la presencia de huecos de tensión en dicha red.**

㉓ Resumen:

Método y sistema de control del convertidor de una instalación de generación eléctrica conectada a una red eléctrica ante la presencia de huecos de tensión en dicha red. Método y sistema de control del convertidor de una instalación de generación eléctrica de las que comprenden al menos un generador eléctrico, tal como un generador eólico, conectado a una red eléctrica, ante la presencia de huecos de tensión en dicha red, siendo el generador eléctrico un generador asíncrono de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el estator, conectado directamente a la red, y un devanado en el rotor que está alimentado en régimen normal mediante el citado convertidor que le impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna. En caso de producirse un hueco de tensión, el convertidor impone una nueva corriente de consigna que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna anterior una corriente desmagnetizante la cual genera un flujo en el devanado del rotor opuesto al flujo libre, reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor.

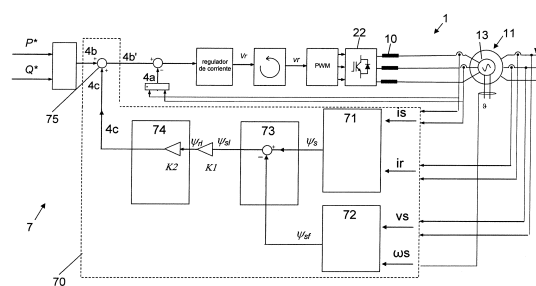


Fig.2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Método y sistema de control del convertidor de una instalación de generación eléctrica conectada a una red eléctrica ante la presencia de huecos de tensión en dicha red.

Sector técnico de la invención

La invención se refiere a un método y a un sistema para el control del convertidor de una instalación eléctrica, particularmente de las que comprenden un generador eólico, del tipo asíncrono doblemente alimentado, conectado a una red eléctrica cuando se produce un hueco de tensión en dicha red.

Antecedentes de la invención

La energía eólica está en constante crecimiento y está considerada, entre las energías renovables, como la mayor candidata a ser una alternativa real a las fuentes de energía convencional, como son aquellas derivadas de los combustibles fósiles como el petróleo, el gas o el carbón, y que son más contaminantes.

El aumento del número de instalaciones eólicas, y en consecuencia el número de aerogeneradores, conectados a la red eléctrica, provoca problemas de integración que ralentizan dicho crecimiento. De entre estos problemas, el más importante está relacionado con el comportamiento que tienen los aerogeneradores frente a los cambios bruscos de tensión en la red, los denominados huecos de tensión.

Los aerogeneradores eólicos más utilizados en la actualidad son los generadores de velocidad variable, con los que se ha conseguido disminuir los esfuerzos mecánicos a consecuencia de ráfagas de viento, que la electricidad generada tenga menos fluctuaciones y que el aprovechamiento energético sea mayor.

En concreto, dentro de este tipo de generadores eléctricos, síncronos o asíncronos, existentes para obtener una velocidad variable, se está apostando por el segundo debido a que los generadores síncronos tienen diferentes inconvenientes. Uno de los inconvenientes de los generadores síncronos es que toda la energía generada, previamente a su suministro a la red eléctrica, debe ser convertida mediante convertidores electrónicos. Por lo tanto, dichos convertidores deben ser dimensionados para soportar toda la potencia del aerogenerador, resultando caros y voluminosos. Además, las pérdidas de energía de estos generadores síncronos ocasionan la disminución del rendimiento total del aerogenerador. En cambio, con el generador asíncrono se mejoran los citados inconvenientes.

El generador asíncrono más utilizado es el generador asíncrono de doble alimentación en el que el devanado del estator se conecta directamente a la red mientras que el devanado del rotor se conecta a la red a través de un convertidor que permite controlar tanto la energía activa como la reactiva del generador eléctrico. Debido a que la potencia que pasa por el rotor es sólo una pequeña fracción de la del estator, los convertidores son menores en coste y tamaño, y además generan menos pérdidas.

Aunque con los generadores asíncronos doblemente alimentados se mejoran muchas de las prestaciones de los generadores eólicos, se reduce la robustez de la instalación de generación de energía eléctrica debido a que los citados generadores asíncronos doblemente alimentados son muy sensibles a las faltas que puedan darse en la red eléctrica, como los huecos de tensión. En concreto, el convertidor de potencia que está conectado al rotor del generador es una parte muy vulnerable del sistema debido a que cuando ocurre un hueco de tensión en uno o varias líneas, la corriente que aparece en el convertidor puede alcanzar valores muy altos hasta llegar a destruirlo.

Esta corriente elevada se produce durante los huecos de tensión y es debida a la desmagnetización del generador hasta que éste alcanza el nuevo estado de magnetización correspondiente a la tensión existente durante el citado hueco de tensión. Esta situación transitoria que se produce en el generador durante los huecos de tensión genera una sobretensión, con la consiguiente sobrecorriente, que genera un flujo en el rotor, denominado en adelante flujo libre.

En condiciones normales la desmagnetización del generador se realiza en la propia resistencia del estator, donde la energía magnética se transforma en calor. De esta forma, la duración del transitorio queda ligada a la constante de tiempo natural del estator que, habitualmente, es del orden de uno o varios segundos, tiempo suficiente para dañar e incluso llegar a destruir el convertidor en caso de hueco de tensión.

La solución habitual para evitar que se vea afectado el convertidor del generador por estas corrientes elevadas que surgen en los huecos de tensión consiste en acelerar el citado proceso de desmagnetización y proteger al convertidor de las sobretensiones y sobrecorrientes asociadas inducidas por el citado flujo libre.

Para acelerar este proceso se pueden conectar resistencias, fijas o variables, en el estator o en el rotor y en serie o en paralelo que reducen el tiempo de desmagnetización, o bien, de un modo alternativo, se actúa con el propio convertidor.

La técnica más extendida, denominada crowbar, se basa en la utilización de resistencias de muy bajo valor, incluso llegándose al cortocircuito, que se conectan, utilizando un puente de tiristores, en paralelo con el rotor en caso de detectar sobrecorrientes en el estator o en el rotor o sobretensión en el rotor o en el bus de continua. Sin embargo, esta

técnica comporta distintos inconvenientes, como que al ser las resistencias utilizadas de valores tan bajos, por un lado, el tiempo de desmagnetización sigue siendo importante y, por otro, si el generador sigue conectado a la red eléctrica se generan sobrecorrientes en el generador, con lo que para evitar estas sobrecorrientes se desconecta el generador de la red y no se vuelve a conectar hasta que la tensión vuelve a su valor nominal. De esta forma, con esta técnica se protege al convertidor pero se produce la desconexión del generador de la red, aunque sea para un corto periodo de tiempo.

Un ejemplo de aplicación de esta técnica es el sistema descrito en el documento W0200403019, que propone incluir un interruptor electrónico entre el devanado del estator y la red eléctrica a la cual está conectado, y un elemento de desmagnetización conectado en paralelo bien con el estator o bien con el rotor. Dicho elemento desmagnetizante es una resistencia variable. En este sistema, en caso de detectarse una variación brusca de la tensión de la red, se desconecta el generador de la red eléctrica y se conecta el elemento de desmagnetización. Este elemento se controla de forma que se iguale la tensión en bornes del generador, lo que se conoce como estado de magnetización del generador, con la nueva tensión de la red. Con este control se fija el flujo del estator en un corto periodo de tiempo a un valor de flujo que corresponde al voltaje real de la red, de modo que exista una coincidencia del valor de flujo y de su fase entre el voltaje inducido del estator y el voltaje de la red antes de que se vuelva a conectar el generador a la red. Siendo así, una vez se han igualado estas dos tensiones se vuelve a conectar el generador a la red y se desconecta el elemento de desmagnetización. Este ejemplo además de requerir la desconexión del generador de la red provocaría la continua conexión y desconexión de la unidad de desmagnetización en caso de huecos de tensión monofásicos y/o bifásicos.

A tenor del arte de la técnica, es un objetivo de la presente invención dotar a las instalaciones de generación de energía eléctrica a partir de la energía eólica conocidas de una solución alternativa al crowbar para controlar su comportamiento en caso de huecos de tensión. La solución alternativa debe garantizar que el generador eólico que comprende la instalación no se desconecte de la red eléctrica a la que está conectado, superando los inconvenientes que se derivan de desconectarlo y conectarlo de la red en caso de huecos de tensión.

En especial, es un objetivo de la presente invención que el convertidor de la instalación de generación eléctrica sea capaz de soportar las situaciones ocasionales de huecos de tensión sin que este sea dañado y sin necesidad de hacer uso de la desconexión del mismo.

Explicación de la invención

El método de control del convertidor de una instalación de generación eléctrica ante la presencia de huecos de tensión objeto de la invención, que supera los inconvenientes antes citados, aplicable a instalaciones que comprenden al menos un generador eléctrico, tal como un generador eólico, conectado a una red eléctrica, siendo el generador eléctrico un generador asíncrono de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el estator, conectado directamente a la red, y un devanado en el rotor que está alimentado en régimen normal, de forma controlada, mediante el citado convertidor que le impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna.

En su esencia, el método se caracteriza porque, en caso de producirse un hueco de tensión, el convertidor impone una nueva corriente de consigna que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna anterior un nuevo término, denominado corriente desmagnetizante, el cual genera un flujo en el devanado del rotor opuesto al flujo libre, siendo el flujo libre ψ_{sl} , aquel que no está provocado por la componente directa de la tensión del estator, reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor.

Según otra característica de la invención, la corriente desmagnetizante es proporcional al valor del flujo libre ψ_{sl} , del estator del generador, estimado como la diferencia entre el valor del flujo magnético en el estator del generador ψ_s y el valor del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado ψ_{sf} .

Con el objeto de aportar una solución a los problemas planteados, se da a conocer también un sistema para la realización del método según la invención que comprende al menos un generador asíncrono de doble alimentación conectado a una red eléctrica, en el que el devanado del rotor está alimentado en régimen normal, de forma controlada, mediante un convertidor que, gobernado por una unidad de control, impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna.

En su esencia, el sistema se caracteriza porque la unidad de control comprende un módulo auxiliar que incorpora una primera unidad para la estimación del valor del flujo del estator; una segunda unidad para la estimación del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado, en caso de producirse un hueco de tensión en la red; una tercera unidad, que calcula la diferencia entre los valores del flujo del estator y del flujo forzado previamente estimados; una cuarta unidad, multiplicadora, que multiplica el valor de la diferencia antes calculada por un factor K2 para la obtención del valor de la corriente desmagnetizante; y una quinta unidad, para la suma del valor de la corriente de consigna anterior y del valor de la corriente desmagnetizante previamente calculado.

Según otra característica de la invención, el factor K2 es menor que 1.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos se ilustra, a título de ejemplo no limitativo, un modo de realización preferido del sistema y método objetos de la invención. En dichos dibujos:

La Fig. 1, es una representación esquemática del control de una instalación de generación eléctrica convencional;

la Fig. 2, es un diagrama de bloques de un sistema para llevar a cabo el método según la invención;

5 las Figs. 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f y 3g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo, según el estado actual de la técnica, en caso de producirse un hueco de tensión trifásico;

10 las Figs. 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f y 4g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo, según el estado actual de la técnica, en caso de producirse un hueco de tensión bifásico;

15 las Figs. 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f y 5g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo, de aplicar el método de control según la invención, en caso de producirse un hueco de tensión trifásico; y

20 las Figs. 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f y 6g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo, de aplicar el método de control según la invención, en caso de producirse un hueco de tensión bifásico.

Descripción detallada de los dibujos

25 La gran mayoría de los generadores eólicos conectados a una red eléctrica están comprendidos por un generador asíncrono 11 doblemente alimentado. Dichos generadores contienen dos devanados, un devanado en el estator, conectado directamente a la red 8, y un devanado en el rotor 13 provisto de un convertidor 22 que en régimen normal alimenta al generador 1, de forma controlada, con corrientes que permiten regular tanto la energía activa como la reactiva del generador 1.

30 Tal como se representa esquemáticamente en la Fig. 1, convencionalmente el control del convertidor 22 se lleva a cabo mediante una unidad de control 7 que impone una corriente rotórica deseada, o corriente de consigna 4b, al devanado del rotor 13 (ver Fig. 2), a partir de unas potencias activa P^* y reactivas Q^* deseadas. Dicha unidad de control 7 comprende además lo que se conoce como un lazo de control, en concreto, un lazo de corriente que compara continuamente la corriente de consigna 4b con la corriente real 4a con objeto de hacer que el regulador de corriente aplique la tensión precisa V_r al convertidor 22 para anular la diferencia entre ambas corrientes.

35 En el caso que nos ocupa, y de acuerdo con el método de la invención representado esquemáticamente en la Fig. 2, en caso de producirse un hueco de tensión, a la corriente de consigna 4b, calculada para conseguir las potencias activa y reactiva deseadas, denominada también corriente de consigna de potencias, se le añade un término destinado a reducir la tensión en bornes del convertidor 22. A este nuevo término se le denominará en adelante corriente desmagnetizante 4c.

40 En concreto, tal y como se muestra en el ejemplo de dicha Fig. 2, el valor de la corriente rotórica que impone el convertidor 22, en caso de producirse un hueco de tensión, es el resultado de añadir a la corriente de consigna 4b una corriente desmagnetizante 4c en fase con el denominado flujo libre ψ_{sl} , siendo el flujo libre ψ_{sl} aquel que existe en el generador asíncrono 11 y no está provocado por la componente directa de la tensión del estator. La corriente desmagnetizante 4c así calculada genera un flujo en el devanado del rotor 13 opuesto a dicho flujo libre ψ_{sl} , reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor 22.

50 Durante la situación de hueco de tensión en la red 8, el lazo de corriente compara la corriente real 4a con la nueva corriente de consigna 4b', la cual comprende la corriente desmagnetizante 4c que está en fase con el flujo libre ψ_{sl} . Esta corriente desmagnetizante 4c permite hacer caer toda o gran parte de la tensión en la inductancia transitoria del rotor del generador asíncrono 11, reduciéndose la tensión que ve el convertidor 22, de modo que no se supera la tensión máxima de dicho convertidor 22.

55 El esquema representado en la misma Fig.2, muestra una variante de implementación para la realización del método antes descrito que comprende, en la unidad de control 7, un módulo auxiliar 70 provisto de:

- una primera unidad 71 para la estimación del valor del flujo del estator ψ_s ;
- 60 - una segunda unidad 72 para la estimación del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado ψ_{sf} ;
- una tercera unidad 73, que calcula la diferencia entre los valores del flujo del estator ψ_s y del flujo forzado ψ_{sf} previamente estimados en la primera y segunda unidades respectivamente;
- 65 - una cuarta unidad 74, multiplicadora, que multiplica el valor de la diferencia antes calculada por un factor K_2 para la obtención de la corriente desmagnetizante 4c; y

ES 2 291 103 B1

- una quinta unidad 75, para la suma del valor de la corriente de consigna 4b y del valor de la corriente desmagnetizante previamente calculado.

Por lo que respecta a los valores del citado flujo total ψ_s y del flujo forzado ψ_{sf} , el primero se puede obtener por medios bien conocidos en el arte de la técnica, a partir de la corriente en el estator y en el rotor, mientras que el módulo del segundo, el del flujo forzado, que es el asociado a la componente directa de la tensión del estator, se puede estimar para el caso de huecos de tensión trifásicos a partir de la siguiente expresión:

$$\psi_{sf} \equiv \frac{|\vec{V}_s - R_s \cdot \vec{i}_s|}{\omega_s}$$

en la que i_s es la corriente del estator; ω_s es la frecuencia de la tensión de la red; R_s es la resistencia estatórica; V_s es la tensión del estator; y ψ_{sf} es el citado flujo forzado.

En caso de huecos de tensión asimétricos (monofásicos y bifásicos) la tensión de la red 8 contiene una componente inversa que hace aparecer en el estator del generador 1 un flujo asociado a dicha componente. Para reducir la tensión en bornes del convertidor 22 es necesario entonces que la corriente desmagnetizante 4c se oponga también a dicho flujo. En estas circunstancias, la expresión presentada anteriormente para la unidad 72 ya no es válida, ya que no tiene en cuenta la componente inversa de la tensión de la red. Una opción posible es separar las dos componentes, directa e inversa, que componen la tensión de la red, utilizando técnicas de filtrado que son bien conocidas en la técnica.

En relación a la tercera unidad 73, ésta comprende un comparador que es el encargado de elaborar la diferencia entre los valores del flujo del estator y el flujo forzado estimados previamente en la primera y la segunda unidades 71 y 72, respectivamente. El resultado de esta diferencia proporciona el valor del citado flujo libre del estator del generador, que posteriormente se multiplica por una constante K1 (Lm/Ls, donde Lm es la inductancia mutua del generador 1 y Ls es la inductancia del estator del generador 1) para obtener el valor del flujo libre del rotor del generador. El valor obtenido se multiplica en la cuarta unidad 74 por una constante K2, provista a tal efecto de un multiplicador. El valor resultante es el de la corriente desmagnetizante 4c, el cual es proporcional al flujo libre pero con signo cambiado, que añadido a la corriente de consigna 4b determina el valor de la corriente desmagnetizante 4c. Esta corriente desmagnetizante 4c está adelantada 90° a la tensión inducida por el citado flujo libre del generador 1. La componente asociada a la corriente desmagnetizante 4c que circula por el rotor 13 induce un flujo adicional en el rotor 13 opuesto al citado flujo libre, con lo que se reduce la tensión inducida en bornes del convertidor 22. Introduciendo el valor adecuado de la corriente desmagnetizante 4c es posible evitar superar la tensión máxima admisible del convertidor. Siendo así, el convertidor 22 queda protegido, no siendo necesaria su desactivación y, por consiguiente, la desconexión del generador 1 de la red 8.

Ejemplo de aplicación

Como ejemplo de aplicación se describe a continuación el comportamiento de un generador 1 eólico de 1,5 MW en el caso de que se utilice un crowbar 9 con resistencias variables, una de las técnicas habituales en el estado de la técnica, y en el caso de que se utilice la técnica propuesta en la invención. Se analiza el comportamiento del generador para los tipos de huecos de tensión más comunes en las redes eléctricas: huecos trifásicos y huecos bifásicos, debidos al cortocircuito de dos de las fases de la red. Dicho generador 1, consta de un generador asincrónico 11 de rotor bobinado con las siguientes características:

Potencia nominal	1,5 MW
Tensión nominal del estator	12 kV
Corriente nominal del estator	67 A
Tensión nominal del rotor	358 V (20% de deslizamiento)
Corriente nominal del rotor	454 A
Inductancia magnetizante, Lm	0,9 H
Inductancia del estator, Ls	0,95 H
Inductancia transitoria del rotor, $\sigma \cdot L_r$, referida al estator	0,09 mH

En todos los casos descritos a continuación el convertidor 22 del circuito de rectificación y conversión de dicha instalación de generación eléctrica trabaja con una tensión de bus de continua de 1.200 V.

Protección mediante un crowbar con resistencias variables

En el caso de un hueco de tensión, cuando la corriente del rotor o la tensión del bus CC superen un determinado nivel (que en el caso del ejemplo es de 1.130 A o 1.300 V respectivamente), el crowbar se activará cortocircuitando el rotor 13 mediante una resistencia variable en el tiempo.

En las Figs. 3a a 3g se representa la evolución de las variables en caso de un hueco de tensión trifásico del 80%. En la Fig. 3a, se representa el valor eficaz de la tensión de la red 8, apreciándose la aparición del hueco de tensión en el instante $t=0,25s$. A continuación, en las Fig. 3b, 3c y 3d se muestra la evolución del valor eficaz de la corriente en el estator, en el rotor y en el convertidor 22 respectivamente. En el momento en el que se produce el hueco de tensión, las tres corrientes comienzan a crecer rápidamente. Cuando la corriente del rotor supera el valor prefijado, la unidad de control 7 activa el crowbar y la corriente del rotor comienza entonces a circular por el crowbar. Generalmente mientras el crowbar está activo se desactiva el convertidor y su corriente se anula, tal como se observa en la Fig. 3d, quedando de esta manera protegido el convertidor de las sobrecorrientes de hasta 3.500 A que se dan en el rotor. En la Fig. 3e se puede apreciar el valor de la resistencia impuesta por el crowbar. Convencionalmente, se suele hacer seguir al crowbar un perfil de resistencia pre-programado de una duración en torno a unos 100 ms. Una vez pasado este tiempo, el crowbar se desactiva, deja de conducir, y la corriente del rotor vuelve a circular entonces por el convertidor que se activa de nuevo. Por otro lado, en las Fig. 3f se muestra la evolución de la tensión del bus CC del convertidor y en la Fig. 3g se aprecia la evolución del par del generador 1, donde se observa que en el momento en el que el crowbar se activa, se produce un pico en el par (golpe de par) superior a 2,5 veces el par nominal del generador 1.

En las Figs. 4a a 4g, se representa la evolución de distintas variables eléctricas en caso de un hueco de tensión bifásico del 80% de profundidad. En este caso, además de aparecer sobrecorrientes y golpes de par similares al caso anteriormente descrito, en la Fig. 4g se puede apreciar claramente como a diferencia del caso anterior, en el que el crowbar se activaba una sola vez, dicho crowbar debe estar conectándose y desconectándose sucesivamente durante todo el hueco de tensión para proteger al convertidor del circuito 2 de rectificación y conversión. Esto implica que el convertidor estará desactivado durante todo el hueco de tensión perdiéndose el control del generador 1. Este comportamiento, tal y como se describía en los antecedentes de la presente invención, no es el deseado para la estabilidad de la red 8.

Protección mediante la introducción de una corriente desmagnetizante 4c

En este caso, el generador 1 está haciendo circular por el rotor una corriente 4b' que incluye una componente asociada a la corriente desmagnetizante 4c introducida para reducir el flujo del generador 1 y, de esta forma, reducir la tensión que aparece en bornes del convertidor del circuito de rectificación y conversión. La corriente desmagnetizante 4c es calculada siguiendo el método mostrado en la Fig. 2, en la que primeramente se calcula el flujo total del estator ψ_s y posteriormente o simultáneamente se calcula el flujo forzado ψ_{sf} a través de la tensión y de la corriente en el estator utilizando la siguiente expresión:

$$\vec{\psi}_{sf} \equiv \frac{\vec{v}_s - R_s \cdot \vec{i}_s}{j\omega_s}$$

Esta expresión permite a la técnica de protección trabajar tanto con huecos de tensión trifásicos como con huecos asimétricos. Introduciendo el valor del flujo forzado así calculado en la unidad 72 de sustracción se obtiene la suma del flujo libre y del doble del flujo asociado a la componente inversa de la tensión. El resultado es entonces multiplicado por la constante $K1=Lm/Ls$, en el ejemplo igual a 0,94, para obtener el valor del flujo del rotor. Finalmente la corriente desmagnetizante 4c se obtiene multiplicando este último flujo por un factor $K2$ igual a 0,5, calculado para compensar todo el flujo inverso y la mitad del flujo libre.

En las Figs 5a a 5g, se muestra la evolución de las distintas variables eléctricas del generador 1 en el caso de producirse un hueco de tensión trifásico del 80%. En la Fig. 5a, se representa el valor eficaz de la tensión de la red 8 eléctrica. En el instante $t=0,25s$ se produce el hueco de tensión trifásico que hace caer la tensión a un 20% de su valor nominal. Las figuras Fig 5b y 5c muestran la evolución del valor eficaz de la corriente en el estator y en el rotor (que en este caso es la misma que en el convertidor), respectivamente. Al igual que en las figuras descritas en el caso anterior, en el momento en el que aparece el hueco de tensión las corrientes comienzan a crecer rápidamente.

En las Figs 5d y 5e se observan la corriente de consigna 4b y la corriente desmagnetizante 4c que sumadas, dan la nueva corriente de consigna 4b' que se hace circular por el rotor del generador 1. Las corrientes se muestran descompuestas en los ejes d y q. La corriente de consigna se anula momentáneamente para facilitar el control del generador 1. Puede observarse como la frecuencia de la corriente desmagnetizante es aproximadamente de 50 Hz. Esto es debido a que dicha corriente es proporcional al flujo libre que, en caso de hueco de tensión trifásico, es visto por el rotor como un flujo giratorio a la velocidad de rotación del rotor, 60 Hz en el caso de la figura.

ES 2 291 103 B1

La evolución de la tensión en el bus de CC del convertidor se muestra en la Fig. 5f. En la Fig. 5g, se aprecia cómo el pico en el par (golpe de par) que se da en los primeros instantes del hueco de tensión es bastante inferior al que se obtiene utilizando un crowbar, en este caso, a 1,5 veces el par nominal.

- 5 Las Figs. 6a a 6g, son similares a las figuras anteriormente descritas salvo que corresponden a un hueco bifásico con una profundidad del 80%. Puede apreciarse como la solución basada en la invención, al contrario que en el caso de utilizar un crowbar 9, funciona también con huecos bifásicos, manteniendo las corrientes y las tensiones a valores que no suponen ningún peligro para los distintos componentes del sistema. Es igualmente destacable que la frecuencia de la corriente desmagnetizante 4c que se hace circular por el rotor 13 del generador, mostrada en la Fig. 6e, es mayor
- 10 en el caso del hueco bifásico que en el trifásico. La razón es que en los huecos de tensión asimétricos (monofásicos o bifásicos) aparece un flujo inverso que es visto por el rotor 13 como un flujo giratorio a una frecuencia igual a la suma de la frecuencia de rotación del rotor 13 y de la frecuencia de la red 8 eléctrica, en el caso del ejemplo $110 \text{ Hz} = 60 \text{ Hz} + 50 \text{ Hz}$.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Método de control del convertidor (22) de una instalación de generación eléctrica de las que comprenden al menos un generador (1) eléctrico, tal como un generador eólico, conectado a una red (8) eléctrica, ante la presencia de huecos de tensión en dicha red, siendo el generador eléctrico un generador asíncrono (11) de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el estator, conectado directamente a la red, y un devanado en el rotor (13) que está alimentado en régimen normal, de forma controlada, mediante el citado convertidor que le impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna (4b);

10 **caracterizado** porque, en caso de producirse un hueco de tensión, el convertidor impone una nueva corriente de consigna (4b') que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna anterior un nuevo término, denominado corriente desmagnetizante (4c), el cual genera un flujo en el devanado del rotor opuesto al flujo libre, siendo el flujo libre ψ_{sl} aquel que no está provocado por la componente directa de la tensión del estator, reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor.

15 2. Método según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque la corriente desmagnetizante (4c) es proporcional al valor del flujo libre ψ_s , del estator del generador, estimado como la diferencia entre el valor del flujo magnético en el estator del generador ψ_s y el valor del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado ψ_{sf} .

20 3. Sistema para la realización del método según la reivindicación 1, particularmente aplicable a una instalación de generación eléctrica que comprende al menos un generador (11) asíncrono de doble alimentación conectado a una red (8) eléctrica, en el que el devanado del rotor (13) está alimentado en régimen normal, de forma controlada, mediante un convertidor (22) que, gobernado por una unidad de control (7), impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna (4b),

caracterizado porque la unidad de control comprende un módulo auxiliar (70) que incorpora

30 una primera unidad (71) para la estimación del valor del flujo del estator (ψ_s);

una segunda unidad (72) para la estimación del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado (ψ_{sf}), en caso de producirse un hueco de tensión en la red;

35 una tercera unidad (73), que calcula la diferencia entre los valores del flujo del estator (ψ_s) y del flujo forzado (ψ_{sf}) previamente estimados;

una cuarta unidad (74), multiplicadora, que multiplica el valor de la diferencia antes calculada por un factor K2 para la obtención del valor de la corriente desmagnetizante (4c); y

40 una quinta unidad (75), para la suma del valor de la corriente de consigna (4b) anterior y del valor de la corriente desmagnetizante (4c) previamente calculado.

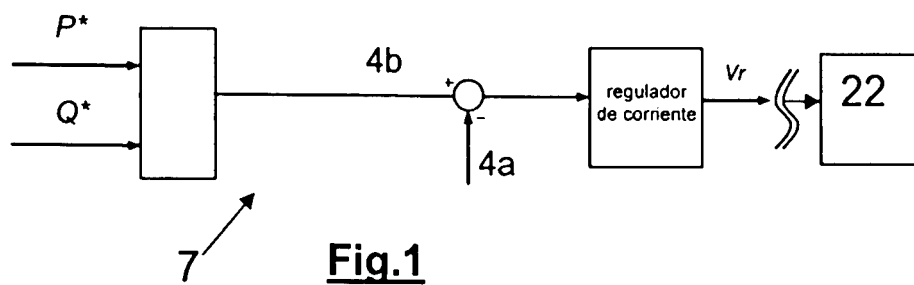
45 4. Sistema según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque K2 es menor que 1.

50

55

60

65



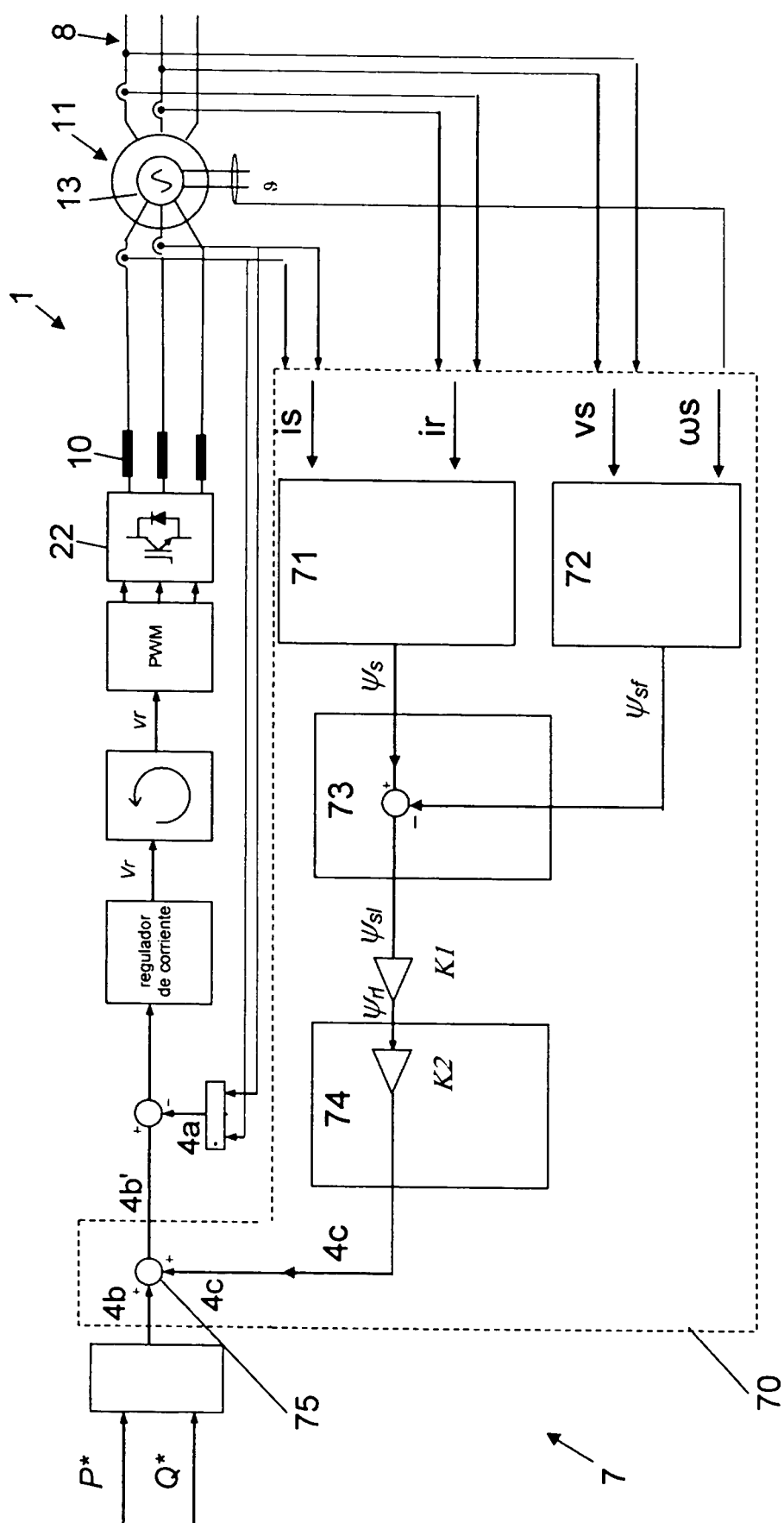
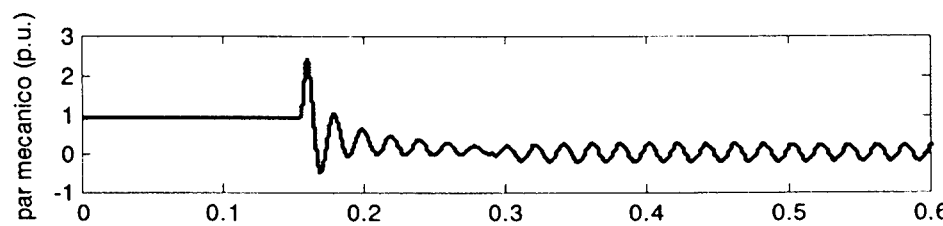
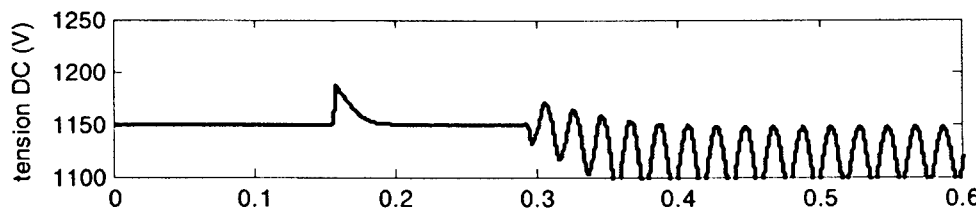
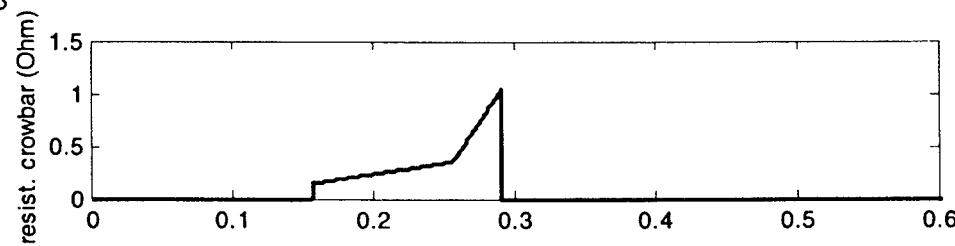
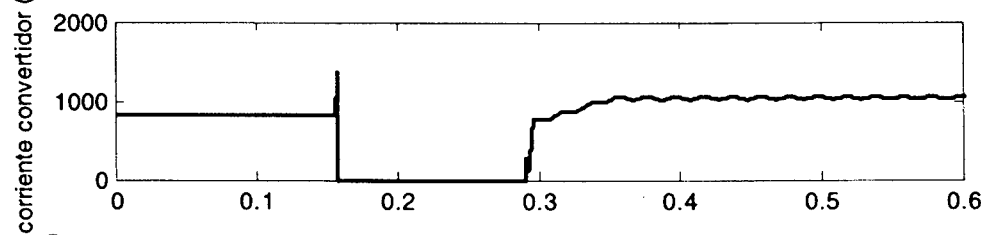
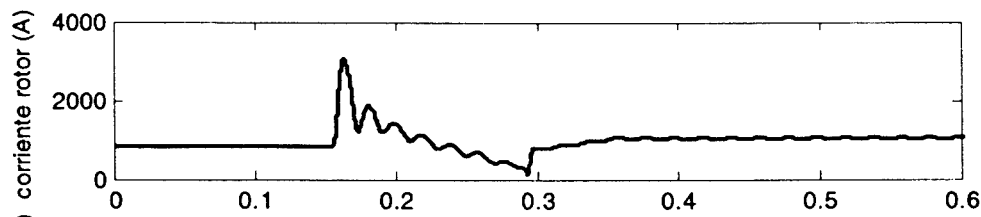
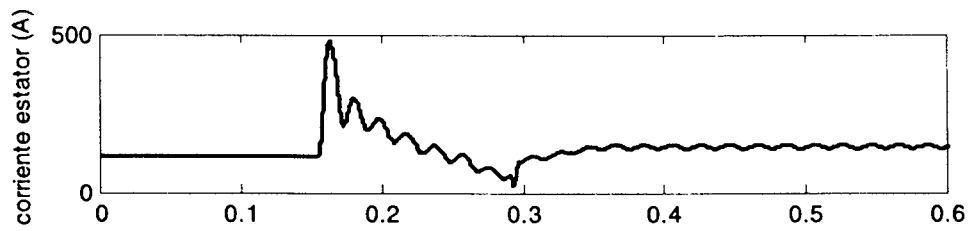
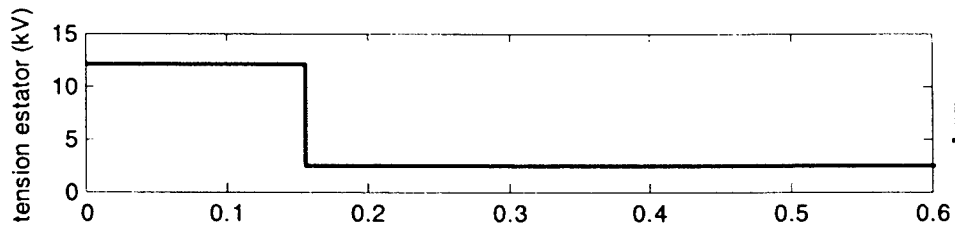
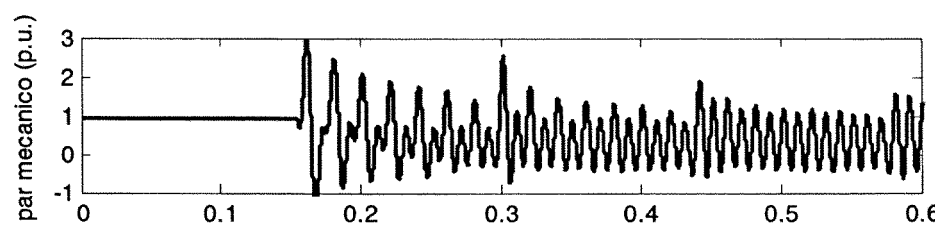
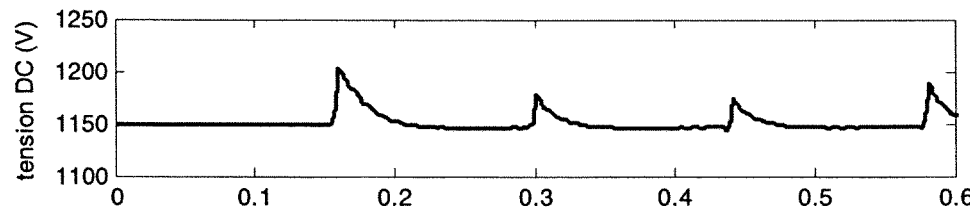
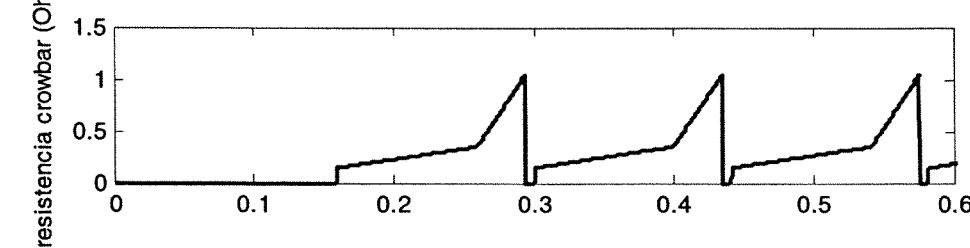
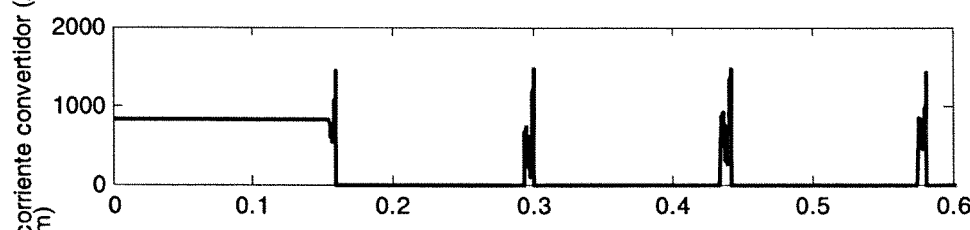
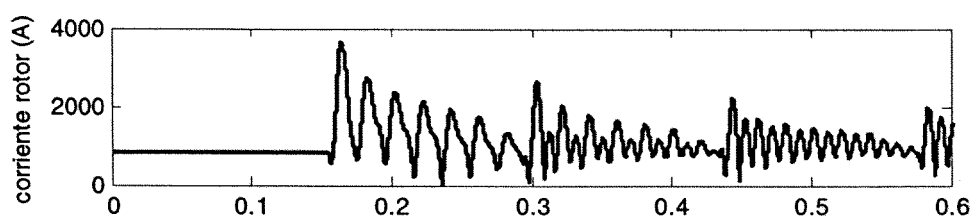
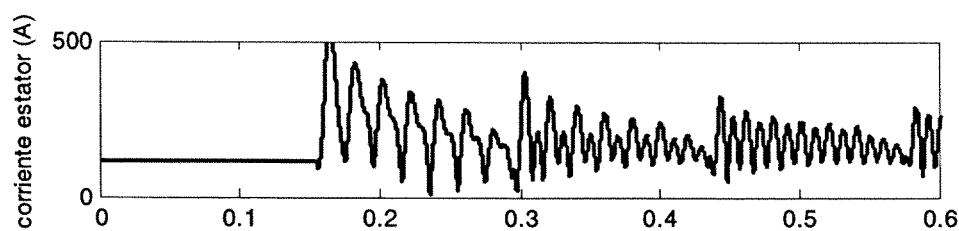
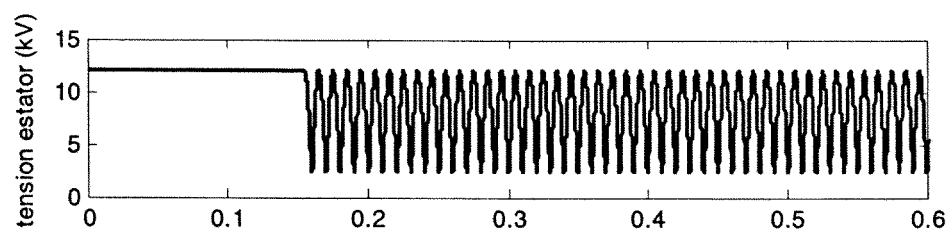


Fig.2





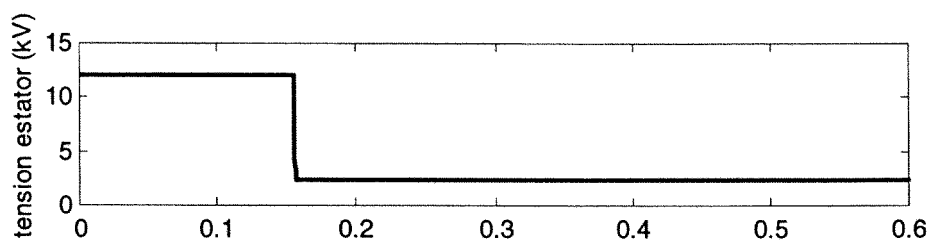


Fig.5a

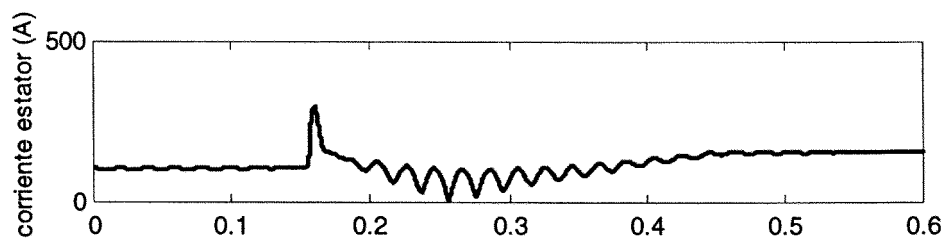


Fig.5b

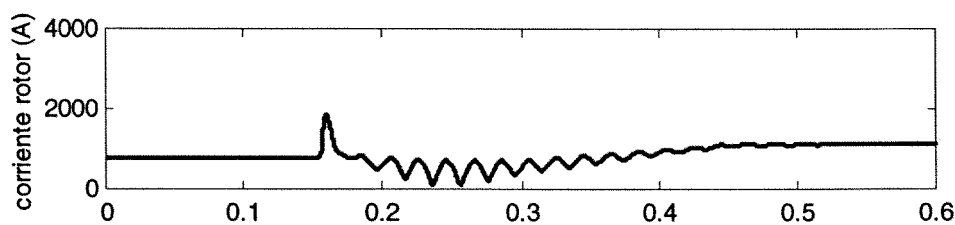


Fig.5c

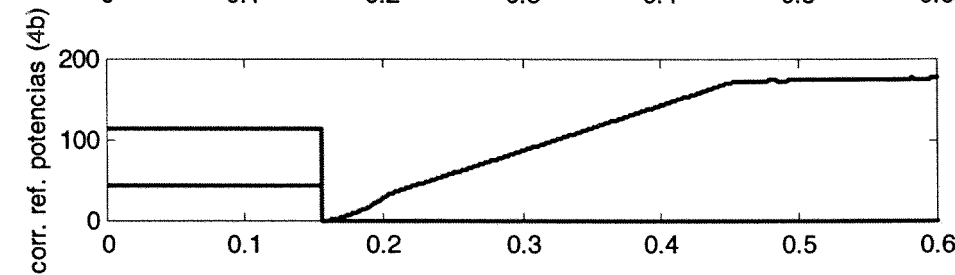


Fig.5d

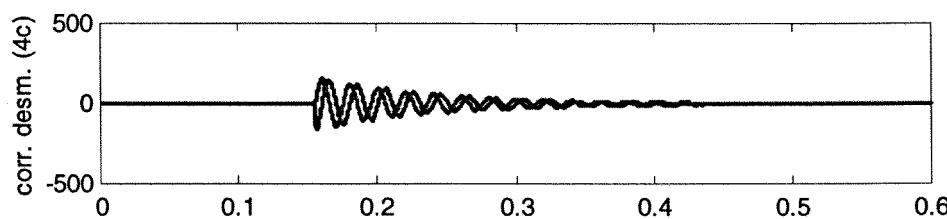


Fig.5e

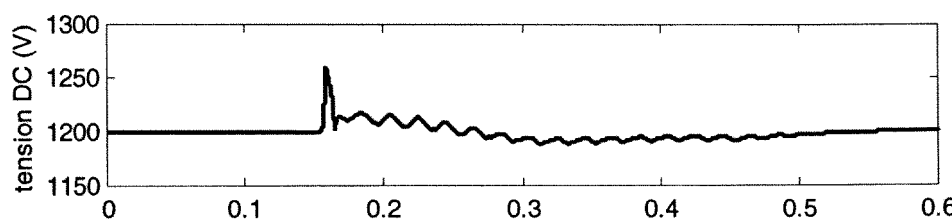


Fig.5f

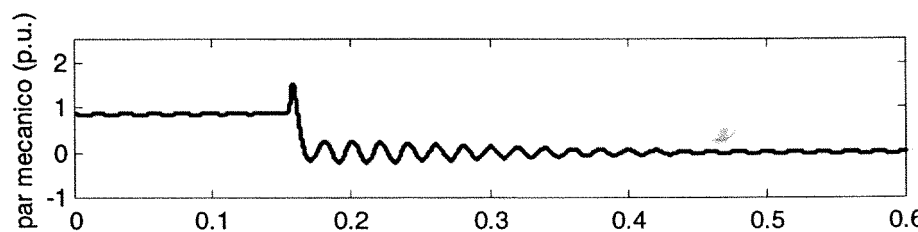


Fig.5g

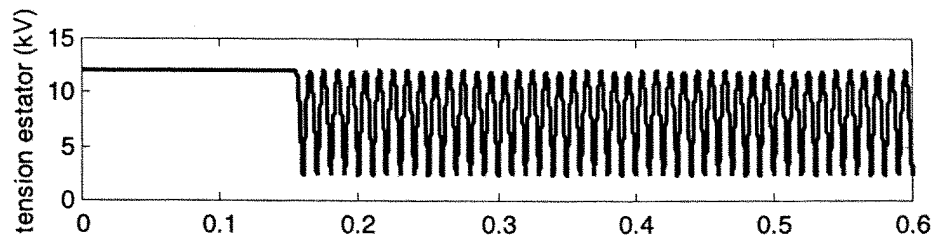


Fig.6a

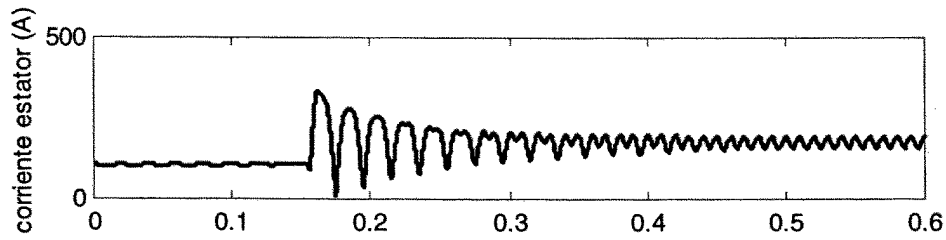


Fig.6b

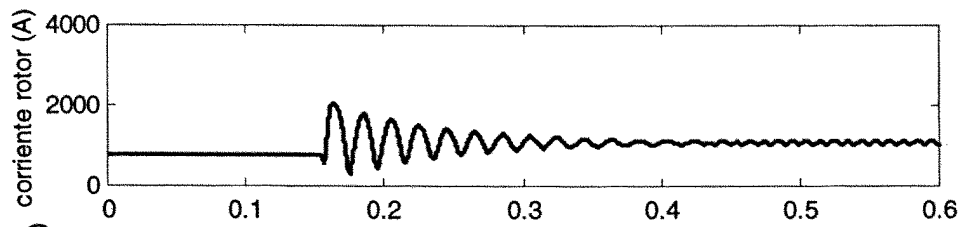


Fig.6c

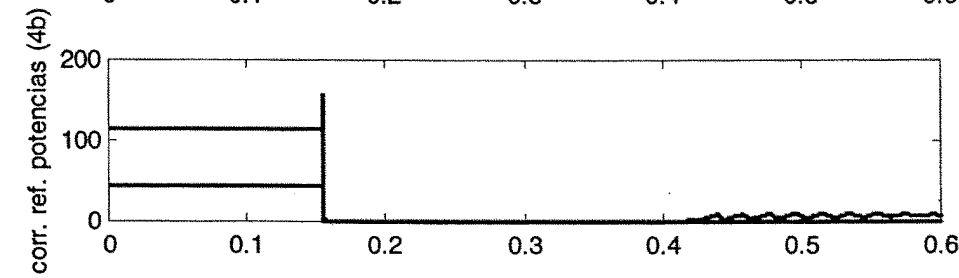


Fig.6d

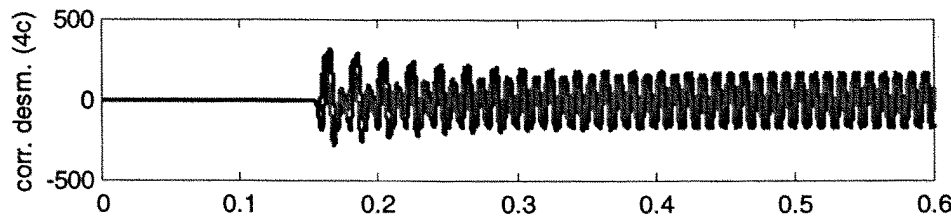


Fig.6e

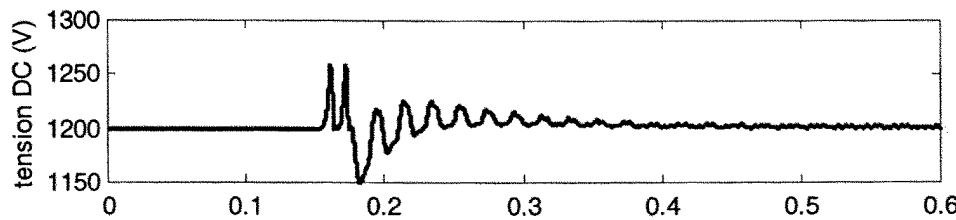


Fig.6f

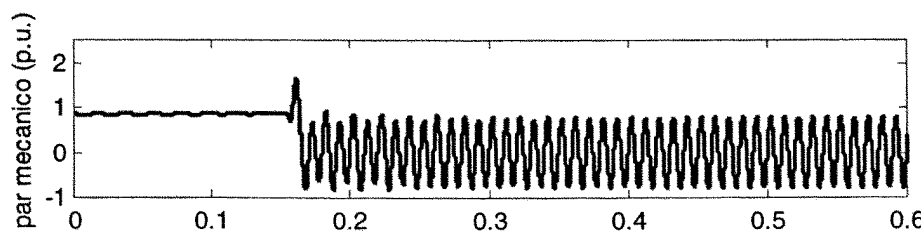


Fig.6g



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 291 103

⑫ Nº de solicitud: 200503242

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 30.12.2005

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	MARVIK, J.I. et al. Control of a Wind Turbine with a Doubly Fed Induction Generator after Transient Failures. 4th Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics Proceedings. Trondheim, Noruega 2004. [Recuperado el 15.01.2008]. Recuperado de internet: <URL: http://www.elkraft.ntnu.no/eno/Papers%202004/NORPIE04-Marvik-Bjorgum-Naess-Undeland-Gjengedal.pdf >. Pagina 4; figuras 11,12.	1-4
A	PETERSSON, A. Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines. Department of Electric Power Engineering. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Goteborg, Sweden 2003. [Recuperado el 15.01.2008]. Recuperado de internet: <URL: ftp://ftp.elteknik.chalmers.se/Publications/Lic/PetersonAndreasLic.pdf >. Páginas 80-82,86-99.	1-4
A	SUN, T. et al. Transient Analysis of Grid-Connected Wind Turbines with DFIG After an External Short-Circuit Fault. Nordic Wind Power Conferences, 1-2 de Marzo de 2004. Chalmers University of Technology. [Recuperado el 15.01.2008]. Recuperado de internet: <URL: http://www.nwtc.cn/Article/UploadFiles/200605/20060530210652272.pdf >	1-4
A	LEDESMA, P., USAOLA, J. Doubly Fed Induction Generator Model for Transient Stability Analysis. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 20, nº. 2. Junio de 2005.	1-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

18.01.2008

Examinador

P. Valbuena Vázquez

Página

1/2

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

F03D 7/02 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)