



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 298 014**

⑫ Número de solicitud: 200503243

⑬ Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

H02H 9/02 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **30.12.2005**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.2008**

Fecha de la concesión: **07.07.2009**

⑭ Fecha de anuncio de la concesión: **23.07.2009**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente:
23.07.2009

⑰ Titular/es: **Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadia, s/n
31006 Pamplona, Navarra, ES**

⑱ Inventor/es: **López Taberna, Jesús;
Marroyo Palomo, Luis María;
Sanchís Gurpide, Pablo y
Gubía Villabona, Eugenio**

⑲ Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

⑳ Título: **Método y sistema para la protección de una instalación de generación eléctrica conectada a una red eléctrica ante la presencia de huecos de tensión en dicha red.**

㉑ Resumen:

Método y sistema para la protección de una instalación de generación eléctrica conectada a una red eléctrica ante la presencia de huecos de tensión en dicha red.

Método y sistema para la protección de una instalación de generación eléctrica, de las que comprenden un generador eólico conectado a una red eléctrica, ante la presencia de huecos de tensión en la red, comprendiendo el generador eólico un generador asíncrono de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el rotor y un devanado en el estator, de los cuales, el devanado del rotor está conectado a un circuito de rectificación y conversión. La corriente generada en el rotor del generador asíncrono, es obligada a pasar por una impedancia conectada en serie con el rotor, la cual está adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito de rectificación y conversión.

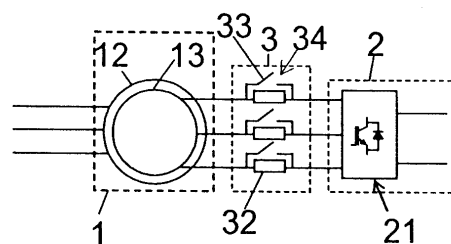


Fig.5b

ES 2 298 014 B1

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

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para la protección 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 para la protección 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

Actualmente la energía eólica está en auge y es considerada, entre las energías renovables, como la que mayor probabilidad tiene de llegar a ser una alternativa real a las fuentes de energía convencionales y más contaminantes como aquellas derivadas de los combustibles fósiles como el petróleo, el gas o el carbón.

Este desarrollo, sin embargo, se ve frenado por los problemas de integración que aparecen cuando aumenta el número de parques eólicos, y en consecuencia el número de aerogeneradores, conectados a la red eléctrica. Uno de los problemas más importantes está relacionado con el comportamiento de los aerogeneradores frente a huecos de tensión en la red. Con el objeto de evitar estos problemas en la mayor parte de países con gran desarrollo eólico se está regulando el comportamiento de los aerogeneradores frente a los huecos de tensión.

Con la aparición de las máquinas de velocidad variable se ha conseguido que las máquinas sufran mecánicamente menos frente a ráfagas de viento, que la electricidad generada tenga menos fluctuaciones y que el aprovechamiento energético del viento sea mayor. Estas ventajas han conducido a que desde hace años la mayor parte de las máquinas instaladas sean de este tipo.

En las principales estrategias utilizadas para obtener velocidad variable, en función del generador eléctrico utilizado, interviene un generador síncrono o un generador asíncrono. El primer tipo de generador tiene el inconveniente de que toda la energía generada, previamente a su suministro a la red eléctrica, debe ser convertida mediante dos convertidores electrónicos. Estos convertidores deben, por tanto, ser dimensionados para toda la potencia del aerogenerador, resultando caros y voluminosos. Sus pérdidas de energía, además, ocasionan la disminución del rendimiento total del aerogenerador.

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

Sin embargo, la solución basada en el generador asíncrono de doble alimentación es muy sensible a las faltas que pueden darse en la red eléctrica. El convertidor de potencia conectado al rotor es una parte muy vulnerable del sistema. Es decir, cuando ocurre una falta en la red, conocida como hueco de tensión, y la tensión de una o varias líneas cae, la corriente que aparece en dicho convertidor puede alcanzar valores muy altos hasta llegar a destruirlo.

Hasta hace poco la solución habitual consistía en desactivar el convertidor y conectar el sistema denominado y conocido como "crowbar" cuando se detectaba que la corriente del convertidor era demasiado elevada. El crowbar consiste en un banco de resistencias de muy bajo valor (incluso cortocircuito) que se conectan en paralelo con el rotor. En situación normal el crowbar está desconectado, por lo que no afecta al funcionamiento normal de la máquina. En caso de producirse un hueco de tensión, el crowbar se conecta durante un intervalo de entre 100 y 200 mseg, tiempo suficiente para que se reduzca en gran medida el fuerte transitorio que sufre el estado magnético de la máquina. Con esta maniobra el convertidor quedaba completamente protegido pero se pierde el control de la máquina.

Las resistencias que forman el crowbar se deben escoger de un valor pequeño, para reducir la tensión aplicada al convertidor. Sin embargo, esto provoca que la corriente que circula por ellas sea muy elevada, llegándose a los 3.000 A.

Además, la corriente del crowbar provoca que la máquina genere en el par un pico que supera en dos a cuatro veces al valor nominal. Normalmente el sistema mecánico no está preparado para sufrir un golpe de par tan intenso y puede romperse. Para evitarlo se debe añadir en el árbol mecánico una junta elástica que amortigüe dicho golpe.

Por otro lado, al comprenderse el crowbar de resistencias pequeñas, el tiempo de desmagnetización o reducción de la sobrecorriente es muy elevado, y por otro lado, si el generador sigue conectado a la red eléctrica se tienen sobrecorrientes en la máquina. Para evitar estas sobrecorrientes los sistemas que comprenden un crowbar desconectan el generador de la red y no lo vuelven a conectar hasta que la tensión vuelve alcanzar su valor nominal.

De este modo, la técnica anteriormente descrita protege al convertidor pero sigue sin cumplir el requisito demandado actualmente por los responsables de la red eléctrica que es el de seguir funcionando en caso de huecos de tensión.

Con el fin de evitar desconectar de la red el generador durante los huecos de tensión se presentan a continuación algunas alternativas.

En el documento de patente JP7067393 se describe un dispositivo de protección de la sobretensión de un sistema de generación de energía de velocidad variable. Este dispositivo comprende una resistencia junto a un circuito "chopper" en el bus de continua. De hecho, lo que se propone en este documento es, en caso de producirse anomalías en la tensión de red, desactivar el convertidor y conectar la resistencia junto al circuito chopper, en paralelo con el rotor utilizando los diodos del inversor. El chopper se controla de forma a mantener la tensión del bus DC constante protegiendo de esta forma el convertidor. Sin embargo, con esta técnica se siguen originando grandes corrientes durante los primeros instantes del hueco con el consiguiente golpe de par. Por otro lado, al utilizarse los diodos del inversor surge otro inconveniente de esta alternativa, ya que hay que sobredimensionar los citados diodos para que aguanten las sobrecorrientes durante los huecos de tensión. Además, si surgen huecos no trifásicos se producen fuertes sobretensiones en el rotor que provocan que el circuito chopper con la resistencia se conecten y desconecten continuamente durante todo el tiempo que dure el hueco de tensión. El dispositivo descrito incluye también un crowbar en paralelo con el rotor por razones de seguridad.

Otra alternativa al crowbar se describe en el documento de patente EP1499009, donde se prevé una unidad de retención, formada por resistencias variables con la tensión, para limitar la sobretensión que se produce en el rotor en situaciones de huecos de tensión. La unidad de retención está conectada en paralelo al circuito rotórico del aerogenerador y está destinada a absorber las corrientes producidas por los huecos de tensión en un periodo pequeño de tiempo, dejando pasar luego la corriente a través del convertidor rotórico. Aunque este sistema plantea una alternativa al crowbar, requiere un tiempo para desmagnetizar la máquina durante el cual se desactiva el convertidor rotórico. De hecho, esta configuración es similar a la del documento de patente anteriormente descrito con la diferencia de que no utiliza el puente de diodos del inversor, por lo que padece de los mismos inconvenientes.

En el documento de patente WO2004/030199 se describe un equipo de desmagnetización y la conexión de un interruptor electrónico entre el estator y la red. El equipo de desmagnetización está conectado en paralelo bien con el estator bien con el rotor. Este equipo de desmagnetización se basa en una resistencia variable que, en caso de detectar una variación brusca en la tensión de red, se conecta en paralelo al estator al mismo tiempo que se desconecta éste de la red eléctrica. Una vez se han igualado las tensiones de la red y de la máquina se vuelve a conectar el generador a la red y se desconecta la resistencia variable que hace de elemento desmagnetizante. De un modo similar a la primera solución descrita (crowbar), este sistema exige la desconexión del generador durante los cambios de tensión y provoca la sucesiva conexión y desconexión del elemento desmagnetizante ante la existencia de huecos monofásicos y bifásicos.

Los anteriores inconvenientes son el motivo por los que la instalación del crowbar y las otras alternativas explicadas resulten insuficientes para solventar las necesidades actuales.

Explicación de la invención

El método para la protección de una instalación de generación eléctrica según la invención es particularmente aplicable a las instalaciones provistas de al menos un generador eólico conectado a una red eléctrica, de los que comprenden un generador asíncrono de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el rotor y un devanado en el estator, de los que el devanado del rotor está conectado a un circuito de rectificación y conversión, en el que la corriente alterna generada en el rotor del generador, previamente a su suministro a la citada red, se convierte primero en corriente continua y se invierte a continuación para obtener una forma sinusoidal con la frecuencia de la red eléctrica.

En esencia, el método según la invención se caracteriza porque la corriente generada en el rotor del generador asíncrono es obligada a pasar, previamente a su paso por el circuito de rectificación y conversión, por una impedancia conectada en serie con el rotor, la cual está adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito de rectificación y conversión.

De acuerdo con estas características, el generador eólico no es desconectado de la red en ningún momento, permitiendo que se absorba la sobreintensidad y/o sobretensión generada en el circuito rotórico en la nueva impedancia conectada en serie sin que el circuito de rectificación y conversión se vea afectado.

Conforme a una variante de la invención, la impedancia en serie está constituida por una inductancia permanentemente conectada al rotor del generador, por lo que la corriente es obligada a pasar por la citada inductancia tanto en condiciones normales como al producirse un hueco de tensión de la red eléctrica.

Según otra característica de la invención, el método comprende además el paso de conectar en paralelo, en caso de producirse un hueco de tensión, en el bus de continua CC del convertidor y/o con el lado CA del rotor, unos elementos de disipación de energía adaptados para la evacuación de la energía magnética generada durante los primeros instantes del hueco de tensión.

De acuerdo con otra variante de la invención, la impedancia en serie es conectada al rotor del generador cuando se produce un hueco de tensión, en tanto que es cortocircuitada en condiciones normales.

De acuerdo con otra variante de la invención, el circuito de rectificación y conversión comprendido por un convertidor, en caso de producirse un hueco de tensión, impone una nueva corriente de consigna que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna un nuevo término, denominado corriente desmagnetizante, el cual genera un flujo en el devanado del rotor opuesto al flujo libre, siendo el flujo libre 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} .

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se da a conocer un sistema para la protección de una instalación de generación eléctrica de las que comprenden al menos un generador eólico conectado a una red eléctrica que comprende a su vez un generador asíncrono de doble alimentación con dos devanados, uno en el rotor y otro en el estator, de los que el del rotor está conectado a un circuito de rectificación y conversión, conectado a su vez a la red eléctrica.

En esencia, el sistema se caracteriza porque el sistema comprende una impedancia conectable en serie entre el devanado del rotor del generador asíncrono y el citado circuito de rectificación y conversión, adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito de rectificación y conversión ante la presencia de un hueco de tensión en la red.

Según una variante de la invención, la impedancia en serie está constituida por una inductancia la cual está permanentemente conectada entre el devanado del rotor del generador y el circuito de rectificación y conversión.

Conforme a otra característica de la invención, el sistema comprende además unos elementos de disipación de energía, conectables en paralelo en caso de producirse un hueco de tensión, con el bus CC del convertidor y/o con el lado CA del rotor.

De acuerdo con otra variante de la invención, la impedancia en serie comprende una resistencia y unos medios de cortocircuito, adaptados para cortocircuitar dicha resistencia en condiciones normales y para conectarla en caso de producirse un hueco de tensión en la red.

Conforme a otra característica de la invención, los medios de cortocircuito comprenden un reté o un interruptor controlado.

Según otra característica de la invención, el sistema comprende un convertidor que, gobernado por una unidad de control, impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna, y 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 de la corriente desmagnetizante; y una quinta unidad, para la suma del valor de la corriente de consigna y del valor de la corriente desmagnetizante previamente calculado.

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

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos se ilustra, esquemáticamente, una instalación de generación eléctrica así como diferentes variantes de un sistema según la invención. En dichos dibujos:

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

La Fig. 2, es una representación esquemática de la instalación de la Fig. 1 que incorpora un sistema de protección conocido;

La Fig. 3, es una representación esquemática de la instalación de la Fig. 1 que incorpora un sistema de protección según la invención;

La Fig. 4, es un diagrama de bloques de una variante del método según la invención; y

Las Fig. 5a y 5b son sendas representaciones esquemáticas de dos variantes del sistema para la protección según la invención.

Las Fig. 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 dado según el estado actual de la técnica en caso de un hueco de tensión trifásico;

5 Las Fig. 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f y 7g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo dado según el estado actual de la técnica en caso de un hueco de tensión bifásico;

10 Las Fig. 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, 8f y 8g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo dado según la invención en caso de un hueco de tensión trifásico; y

Las Fig. 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f y 9g son respectivos gráficos de la evolución de las principales variables eléctricas que se dan en el generador eólico del ejemplo dado según la invención en caso de un hueco de tensión bifásico.

15 Descripción detallada de los dibujos

El método para la protección de una instalación de generación eléctrica que como ejemplo de realización se explica a continuación está aplicado a una instalación que comprende un generador 1 eólico conectado a una red 8 eléctrica que comprende un generador asíncrono 11 de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el rotor 20 13 y un devanado en el estator 12, de los que el devanado del rotor 13 está conectado a un circuito 2 de rectificación y conversión, todo ello tal y como indica la Fig. 1.

En el circuito 2 de rectificación y conversión es donde la corriente alterna generada en el rotor del generador 1, previamente a su suministro a la red 8 eléctrica, se convierte primero en corriente continua y se invierte a continuación 25 para obtener una forma sinusoidal con la frecuencia de la citada red 8 eléctrica, típicamente 50 Hz.

En la Fig. 2 se ha representado esquemáticamente un sistema de protección convencional, que se conoce como crowbar 9, destinado a cortocircuitar el circuito rotórico del generador 1 eólico al producirse un hueco de tensión en la red 8. De acuerdo a esta solución, durante los períodos de tiempo en los que el crowbar 9 queda conectado en paralelo 30 al circuito rotórico, el generador 1 queda desconectado de la citada red 8.

El método para la protección de instalaciones de generación eléctrica según la invención se caracteriza porque al producirse un hueco de tensión en la red 8, la corriente generada en el rotor del generador asíncrono 11 es obligada a pasar, previamente a su paso por el circuito 2 de rectificación y conversión, por una impedancia 3 conectada en serie 35 con el rotor tal y como se representa en la Fig. 3. Dicha impedancia 3 está adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito 2 de rectificación y conversión.

La misión de la citada impedancia 3 es la de limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en cualquier caso de hueco de tensión, tanto si se produce una falta o disminución de la red 8 eléctrica debido a un cortocircuito en una sola de 40 las líneas, lo que se conoce como un hueco monofásico, en dos de las líneas, llamado hueco bifásico, o en el caso de producirse un cortocircuito en las tres líneas, lo que es conocido como hueco trifásico.

En el estado de la técnica, como el ejemplo representado en la Fig. 1, si aparece un hueco de tensión en la red 8 eléctrica la corriente que circula por el rotor sólo está limitada por el convertidor y por la inductancia de fugas 10 45 del generador, no representada, cuyo valor suele ser normalmente muy bajo. Con objeto de reducir el valor de esta corriente, las instalaciones de generación eléctrica de las Figs. 4, 5a y 5b incorporan un sistema de protección que comprende una impedancia 3 intercalada en serie entre el rotor y el convertidor. De este modo, la corriente se verá limitada principalmente por esta nueva impedancia 3 intercalada.

50 La impedancia 3 del sistema para la protección según la invención, no debe confundirse con la inductancia de filtrado 10 que convencionalmente se conecta en serie con el rotor del generador 1, cuyo objetivo es el de ayudar al lazo de control de corriente del convertidor del circuito 2 de rectificación y conversión y disminuir las sobretensiones debidas a las reflexiones. El valor de estas inductancias 10 es bajo, típicamente de 100 μ H. Contrariamente, el valor de la impedancia 3 del sistema según la invención es mucho mayor, del orden de mH, y su presencia persigue un 55 propósito muy distinto tal y como se ha explicado anteriormente.

En una variante del método antes descrito, representada en la Fig. 5a, la impedancia 3 en serie está constituida por una inductancia 31 la cual está permanentemente conectada entre el devanado del rotor 13 del generador y el circuito 2 de rectificación y conversión. El hecho de que la impedancia 3 esté constituida por una inductancia 31, ofrece la 60 ventaja de que ésta puede dejarse conectada en condiciones normales ya que su presencia no afecta al generador 1. Debido a que la impedancia 3 en serie está constituida por una inductancia 31, se podría incluso prescindir de la pequeña inductancia de filtrado 10 necesaria para atenuar los efectos de las reflexiones.

En la variante representada en la Fig. 5b, la impedancia 3 en serie está comprendida por una resistencia 32 que 65 comprende además unos medios de cortocircuito 34 adaptados para cortocircuitar dicha resistencia 32 en condiciones normales, y para conectarla en caso de producirse un hueco de tensión en la red 8.

En esta última variante, se hace necesario disponer de los citados medios de cortocircuito 34, ya que la conexión de la resistencia 32 en condiciones normales afectaría al funcionamiento normal del generador 1. Este hecho se debe en parte a la disipación de energía de la resistencia 32, en forma de calor, que disminuiría el rendimiento del generador 1. Los mencionados medios de cortocircuito 34 pueden estar constituidos, de un modo en sí conocido, por un interruptor controlado 33 relé. En otras variantes no representadas, el citado relé o interruptor controlado 33, que comprenden los medios de cortocircuito 34, puede estar constituido por un relé o un interruptor electrónico del tipo bipolar, IGBT, GTO o similar.

Por otro lado, tal y como se ilustra en la Fig. 4, el control del convertidor 21 del rotor incorpora habitualmente un lazo de corriente que le permite imponer la corriente rotórica deseada o corriente de consigna 4b, que se calcula para generar unas potencias activas y reactivas deseadas. Esto se consigue comparando ésta corriente de consigna 4b con la corriente real 4a y haciendo que el convertidor 21 aplique la tensión V_r precisa para anular su diferencia.

En una variante del método según la invención, además de la adición de una impedancia 3 en serie y aprovechando que el convertidor del rotor es susceptible de controlar la corriente rotórica, se modifica el control del convertidor rotórico de modo que en caso de producirse un hueco de tensión, éste impone una nueva corriente de consigna 4b' que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna 4b un nuevo término, denominado corriente desmagnetizante 4c, el cuál genera un flujo en el devanado del rotor 13 opuesto al flujo libre, siendo el flujo libre aquel que no está provocado por la componente directa de la tensión del estator, reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor 21. La citada corriente desmagnetizante 4c hace caer toda o gran parte de la sobretensión en el conjunto formado por la inductancia de fugas del rotor del generador 1, la inductancia de filtrado 10 y la impedancia 3 en serie de modo que se consigue reducir, en caso de huecos de tensión, la tensión que aparece en bornes del convertidor 21 del circuito 2 de rectificación y conversión. De acuerdo con esta variante, el valor de la impedancia 3 necesario para la protección del sistema puede reducirse significativamente.

En una opción del método de la citada corriente desmagnetizante 4c, que añadida a la corriente de referencia de potencias, corriente de consigna 4b, determina el valor de la nueva corriente de consigna 4b', es proporcional al valor del flujo libre ψ_{sl} , del estator del generador 1. El valor de dicho flujo libre ψ_{sl} , se estima 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} .

La Fig. 4 es una representación esquemática de un sistema para llevar a cabo la variante del método anteriormente descrito. Este sistema comprende una impedancia 3, conectable en serie entre el devanado del rotor 13 del generador asíncrono 11 y el convertidor 21 del citado circuito 2 de rectificación y conversión, adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito 2 de rectificación y conversión ante la presencia de un hueco de tensión en la red 8 eléctrica.

Además, el sistema está provisto de una unidad de control 7 para el gobierno del convertidor 21 que impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna 4b. Dicha unidad de control 7 comprende un módulo auxiliar 70 que comprende diferentes unidades: una primera unidad 71 para la estimación del valor del flujo del estator ψ_s ; una segunda unidad 72 para la estimación del valor 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; una tercera unidad 73 que calcula la diferencia entre los valores del flujo del estator ψ_s y el 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 de la corriente desmagnetizante 4c; y una quinta unidad 75, para la suma del valor de la corriente de consigna 4b y el valor de la corriente desmagnetizante 4c previamente calculado.

Como se detalla en la Fig. 4, la tercera unidad 73 comprende un comparador 73b que es el encargado de elaborar la diferencia entre los valores del flujo del estator ψ_s y el flujo forzado ψ_{sf} estimado previamente en la primera y segunda unidades 71 y 72, respectivamente. El resultado de esta diferencia proporciona el valor del citado flujo libre ψ_{sl} del estator del generador 1, que posteriormente se multiplica por una constante K1 (L_m/L_s , donde L_m es la inductancia mutua del generador 1 y L_s es la inductancia del estator del generador 1) para obtener el valor del flujo libre ψ_{rl} del rotor del generador. El valor obtenido se multiplica por una constante K2 menor que 1 en la cuarta unidad 74, provista a tal efecto de un multiplicador 74b. El valor que resulta es proporcional al flujo libre pero con signo cambiado y determina el valor de la corriente desmagnetizante 4c. Esta corriente desmagnetizante 4c está constituida, en la variante anteriormente descrita, por una corriente de 90° adelantada a la tensión inducida por el citado flujo libre ψ_{sl} , del generador 1. Esta sencilla implementación del sistema propuesto para la realización del método según la invención optimiza la disminución de la tensión vista por el convertidor en caso de tener únicamente inductancias.

El valor del flujo magnético del estator del generador, ψ_s , se puede determinar a partir de las corrientes en el estator y en el rotor. En caso de hueco de tensión, la fase del citado flujo forzado ψ_{sf} está retrasada 90° respecto a la tensión y su módulo puede ser calculado utilizando 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 contiene una componente inversa que hace aparecer en el estator del generador asincrónico 11 un flujo asociado a dicha componente. Para reducir la tensión en bornes del convertidor 21 es necesario entonces que la corriente desmagnetizante 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 8. Una opción posible es separar las dos componentes, directa e inversa, que componen la tensión de la red 8, utilizando técnicas de filtrado que son bien conocidas por la literatura.

El valor del flujo libre ψ_{sl} , del estator del generador 1 se estima como la diferencia entre el valor del flujo del estator ψ_s y el valor del flujo forzado ψ_{sf} estimado anteriormente. Dicho flujo libre ψ_{sl} es el que existe en el generador 1 y no está provocado por la componente directa de la tensión del estator. Multiplicando el citado flujo libre ψ_{sl} del estator del generador 1 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) se obtiene el valor del flujo libre ψ_{rl} del rotor del generador que es el que multiplicado a su vez por una constante K2 por la cuarta unidad 74 nos proporciona la corriente desmagnetizante 4c.

La corriente desmagnetizante 4 induce un flujo adicional en el rotor opuesto al citado flujo libre ψ_{sl} , con lo que se reduce la tensión inducida en bornes del convertidor 21. Introduciendo la suficiente cantidad de corriente desmagnetizante 4c es posible evitar superar la tensión máxima admisible del convertidor 21. Siendo así, el convertidor 21 queda protegido, no siendo necesaria su desactivación y, por consiguiente, la desconexión del generador 1 de la red 8 eléctrica.

25 Ejemplo de aplicación

Como ejemplo de aplicación se describe a continuación el comportamiento de un generador 1 eólico de 1,5 MW con generador asincrónico 11 de rotor bobinado durante los diferentes tipos de huecos de tensión que puede haber 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 una de las opciones propuestas en la invención. Dicho generador 1 tiene 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 de filtrado entre el convertidor y el rotor del generador	100 μ H

En todos los casos que a continuación se describen el convertidor del circuito 2 de rectificación y conversión de dicha instalación de generación eléctrica trabaja con una tensión de bus de continua de 1200 V.

Protección mediante un crowbar 9 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 ó 1.300 V respectivamente), el crowbar 9 se activará cortocircuitando el rotor mediante una resistencia variable en el tiempo.

En las Figs. 6a a 6g se representa la evolución de las variables en caso de un hueco de tensión trifásico del 80%. En la Fig. 6a, se representa el valor eficaz de la tensión de la red, apreciándose la aparición del hueco de tensión en el instante $t=0,25$ s. A continuación, en las Fig. 6b, 6c y 6d se muestra la evolución del valor eficaz de la corriente en el estator, en el rotor y en el convertidor 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 9 y la corriente del rotor comienza entonces a circular por el crowbar 9. Generalmente mientras el crowbar 9 está activo se desactiva el convertidor y su corriente se anula, tal como se observa en la Fig. 6d, quedando de esta manera protegido el convertidor de las sobrecorrientes de hasta 3.500 A que se dan en el rotor. En la Fig. 6e se puede apreciar el valor de la resistencia impuesta por el crowbar 9. Convencionalmente, se suele hacer seguir al crowbar 9 un perfil de resistencia pre-programado de una duración en torno a unos 100 ms. Una vez

pasado este tiempo, el crowbar 9 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. 6f se muestra la evolución de la tensión del bus CC del convertidor y en la Fig. 6g se aprecia la evolución del par del generador 1, donde se observa que en el momento en el que el crowbar 9 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. 7a a 7g, 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. 7g se puede apreciar claramente cómo a diferencia del caso anterior, en el que el crowbar 9 se activaba una sola vez, dicho crowbar 9 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 deseado para la estabilidad de la red 8 eléctrica.

Protección mediante una impedancia 3 conectada en serie entre el devanado del rotor 13 y el circuito 2 de rectificación y conversión

En este caso, el generador 1 es protegido por una impedancia 3 conectada en serie que está constituida por un inductancia 31, de 1 mH, y una resistencia 32, de 0,7 Ω , conectadas en cada una de las fases entre los devanados del rotor 13 del generador 1 y el convertidor del circuito 2 de rectificación y conversión. Las inductancias 31 están permanentemente conectadas mientras que las resistencias 32 son cortocircuitadas en funcionamiento normal mediante un interruptor 33 y únicamente se conectan cuando la corriente del rotor o la tensión del bus CC supera un determinado nivel (1.400 A ó 1.300 V respectivamente). Además, en caso de producirse un hueco de tensión, se hace circular por el rotor una corriente desmagnetizante 4c para reducir el flujo del generador 1 y, de esta forma, reducir la tensión que aparece en bornes del convertidor 21 del circuito 2 de rectificación y conversión.

En las Figs 8a a 8g, 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.8a, se representa el valor eficaz de la tensión de la red 8 eléctrica. En el instante $t=0,25$ s se produce el hueco de tensión trifásico que hace caer la tensión a un 20% de su valor nominal. Las figuras Fig 8b y 8c 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. Cuando la corriente del rotor supera el valor prefijado, la unidad de control 7 conecta las resistencias 32. Las inductancias 31, junto con las resistencias 32 cuando éstas se conectan, son capaces de frenar el crecimiento de las corrientes consiguiendo que la corriente del rotor no supere los 1.400 A, valor que puede ser soportado por el convertidor de forma transitoria. De este modo, el convertidor sigue activo en todo momento.

En las Figs 8d y 8e se observa la tensión eficaz en las inductancias 31 y las resistencias 32. Estas tensiones se oponen al crecimiento de la corriente y ayudan al convertidor a mantener el control de la misma. Como puede apreciarse en la Fig. 8e, la resistencia 32 únicamente permanece conectada durante los primeros instantes del hueco de tensión.

La evolución de la tensión en el bus de CC del convertidor se muestra en la Fig. 8f. En la Fig. 8g, se aprecia cómo el pico en el par (golpe de par) que se da en los primeros instantes del hueco de tensión es inferior, en este caso, a 1,25 veces el par nominal.

Las Figs. 9a a 9g, son similares a las figuras anteriormente descritas salvo que corresponden a un hueco bifásico con una profundidad del 80%. Puede apreciarse cómo 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.

REIVINDICACIONES

1. Método para la protección 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 (8), comprendiendo el generador (1) eólico un generador asíncrono (11) de doble alimentación formado por dos devanados, un devanado en el rotor (13) y un devanado en el estator (12), de los que el devanado del rotor (13) está conectado a un circuito (2) de rectificación y conversión, en el que la corriente alterna generada en el rotor del generador (1), previamente a su suministro a la citada red (8), se convierte primero en corriente continua y se invierte a continuación para obtener una forma sinusoidal con la frecuencia de la red (8) eléctrica;

caracterizado porque la corriente generada en el rotor del generador asíncrono (11) es obligada a pasar, previamente a su paso por el circuito (2) de rectificación y conversión, por una impedancia (3) conectada en serie con el rotor, la cual está adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito (2) de rectificación y conversión.

2. Método para la protección de una instalación de generación eléctrica según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la impedancia (3) en serie está constituida por una inductancia (31) permanentemente conectada al rotor del generador (1), por lo que la corriente es obligada a pasar por la citada inductancia (31) tanto en condiciones normales como al producirse un hueco de tensión de la red (8) eléctrica.

3. Método para la protección de una instalación de generación eléctrica según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende además el paso de conectar en paralelo, en caso de producirse un hueco de tensión, con el bus de continua CC del convertidor y/o con el lado CA del rotor, unos elementos de disipación de energía adaptados para la evacuación de la energía magnética que se genera durante los primeros instantes del hueco de tensión.

4. Método para la protección de una instalación de generación eléctrica según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la impedancia (3) en serie es conectada al rotor del generador (1) cuando se produce un hueco de tensión, en tanto que es cortocircuitada en condiciones normales.

5. Método para la protección de una instalación de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el circuito (2) de rectificación y conversión comprendido por un convertidor (21), en caso de producirse un hueco de tensión, impone una nueva corriente de consigna (4b') que es el resultado de añadirle a la corriente de consigna (4b) un nuevo término, denominado corriente desmagnetizante (4c), el cual genera un flujo en el devanado del rotor (13) opuesto al flujo libre, siendo el flujo libre aquel que no está provocado por la componente directa de la tensión del estator, reduciéndose por consiguiente la tensión en bornes del convertidor.

6. Método para la protección de una instalación de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la corriente desmagnetizante (4c) es proporcional al valor del flujo libre ψ_{sl} , del estator del generador (1), estimado como la diferencia entre el valor del flujo magnético en el estator (12) del generador ψ_s (71) y el valor del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado ψ_{sf} (72).

7. Sistema para la realización del método según la reivindicación 1, particularmente aplicable en una instalación de generación eléctrica, de las que comprenden al menos un generador (1) eólico conectado a una red (8) eléctrica, comprendiendo el generador (1) eólico:

- un generador asíncrono (11) de doble alimentación con dos devanados, uno en el rotor (13) y otro en el estator (12), de los que el del rotor (13) está conectado a un circuito (2) de rectificación y conversión, conectado a su vez a la red (8) eléctrica,

caracterizado porque el sistema comprende una impedancia (3) conectable en serie entre el devanado del rotor (13) del generador asíncrono (11) y el citado circuito (2) de rectificación y conversión, adaptada para limitar las sobrecorrientes y sobretensiones en bornes del circuito (2) de rectificación y conversión ante la presencia de un hueco de tensión en la red (8).

8. Sistema según la reivindicación 7, **caracterizado** porque la impedancia (3) en serie está constituida por una inductancia (31) la cual está permanentemente conectada entre el devanado del rotor (13) del generador y el circuito (2) de rectificación y conversión.

9. Sistema según la reivindicación 7 o 8, **caracterizado** porque comprende además unos elementos de disipación de energía, conectables en paralelo en caso de producirse un hueco de tensión, con el bus CC del convertidor y/o con el lado CA del rotor.

10. Sistema según la reivindicación 7, 8 ó 9, **caracterizado** porque la impedancia (3) en serie comprende una resistencia (32) y unos medios de cortocircuito (34), adaptados para cortocircuitar dicha resistencia (32) en condiciones normales y para conectarla en caso de producirse un hueco de tensión en la red (8).

ES 2 298 014 B1

11. Sistema según la reivindicación 10, **caracterizado** porque los medios de cortocircuito (34) comprenden un relé o un interruptor controlado (33).

12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado** porque comprende un convertidor (21) que, gobernado por una unidad de control (7), impone una corriente rotórica predeterminada denominada corriente de consigna (4b), y porque la unidad de control comprende un módulo auxiliar (70) que incorpora

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

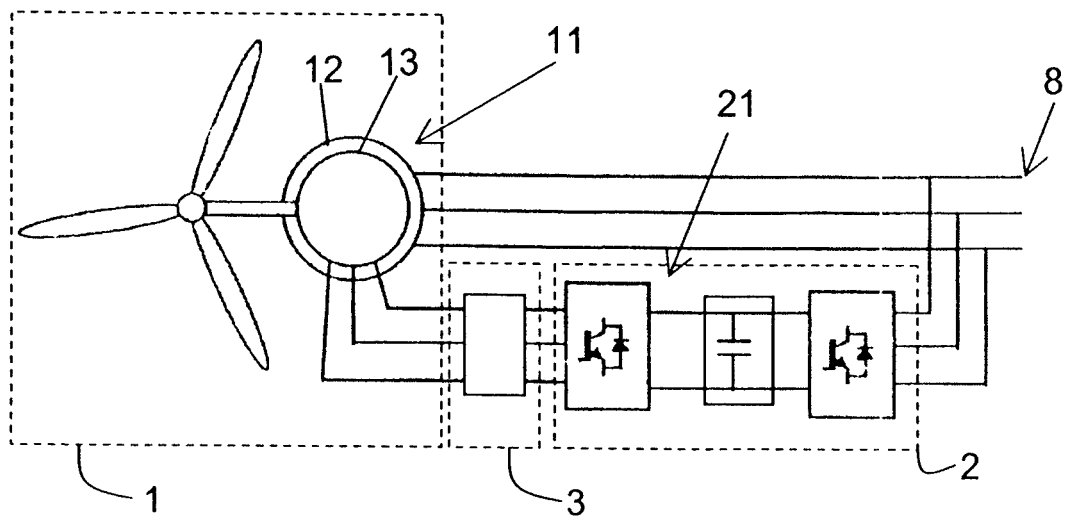
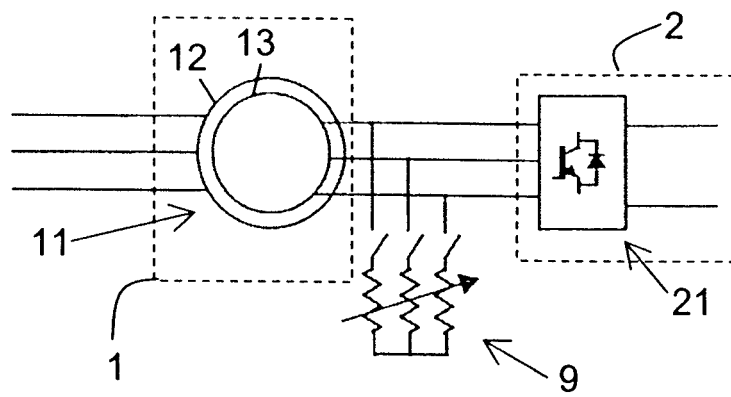
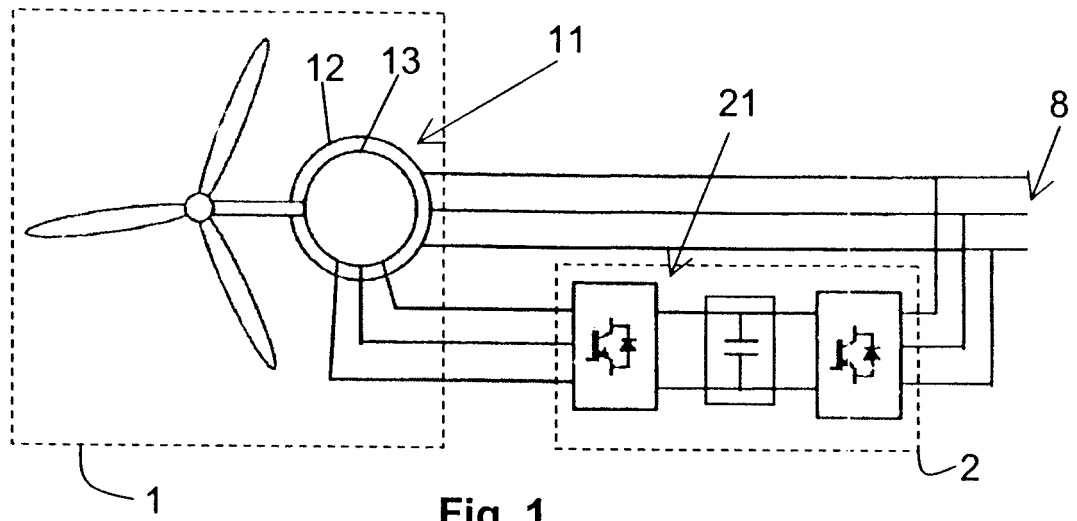
una segunda unidad (72) para la estimación del flujo del estator asociado a la componente directa de la tensión del estator, denominado flujo forzado (ψ_{sf}), en caso de producirse un hueco de tensión en la red;

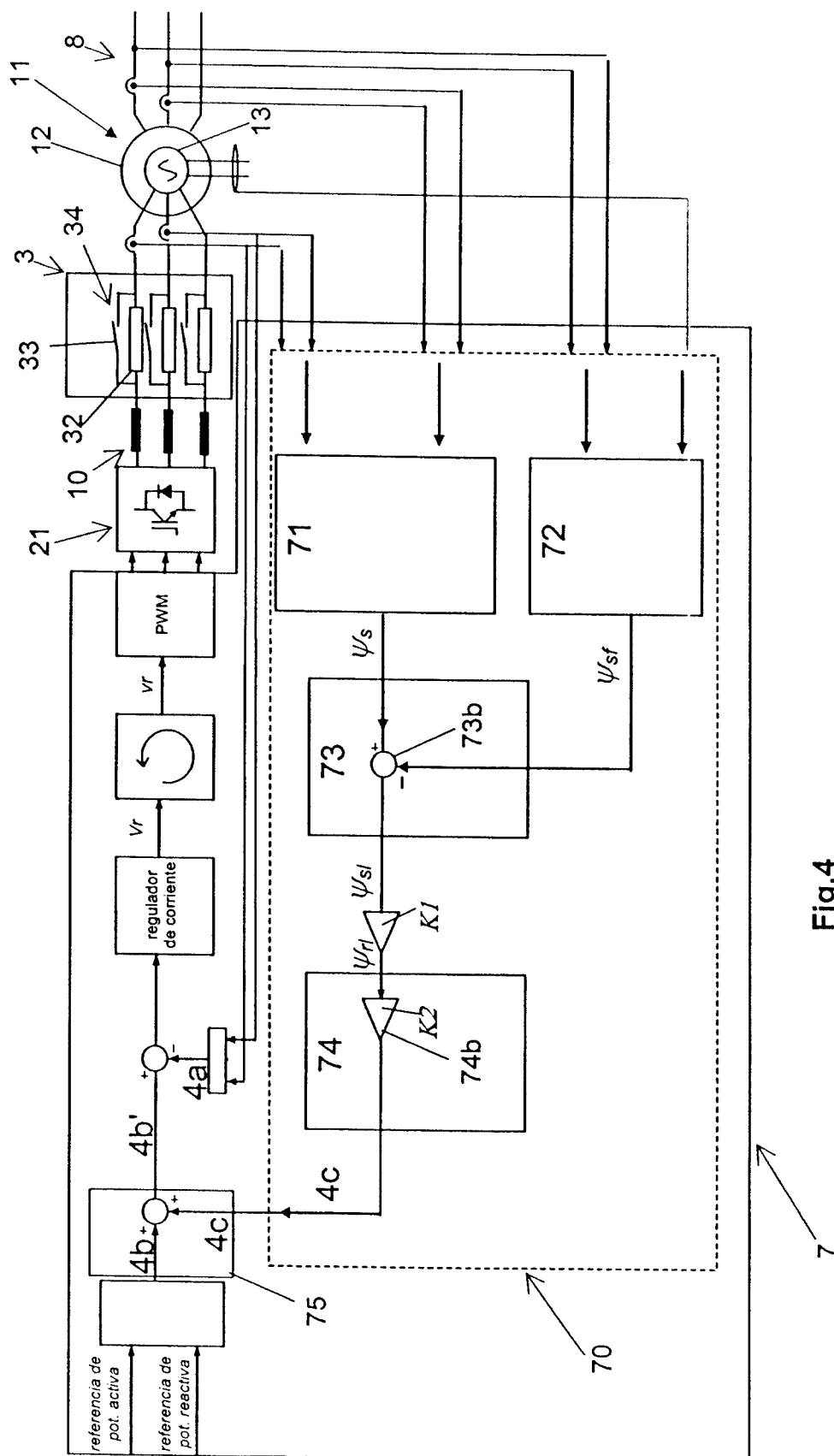
una tercera unidad (73), que calcula la diferencia entre los valores del flujo del estator (ψ_s) y del flujo forzado (ψ_{sf}) previamente estimados;

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

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

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





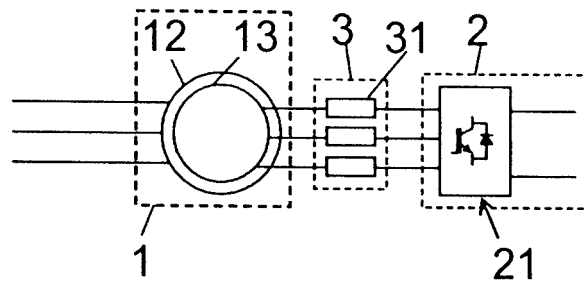


Fig. 5a

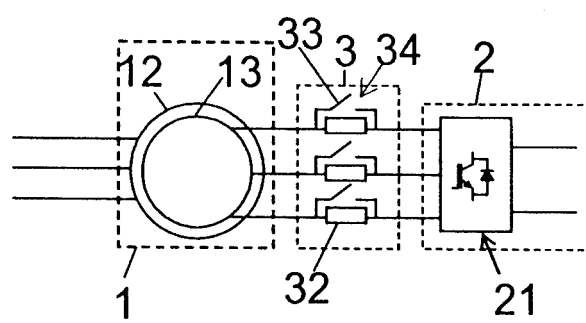


Fig. 5b

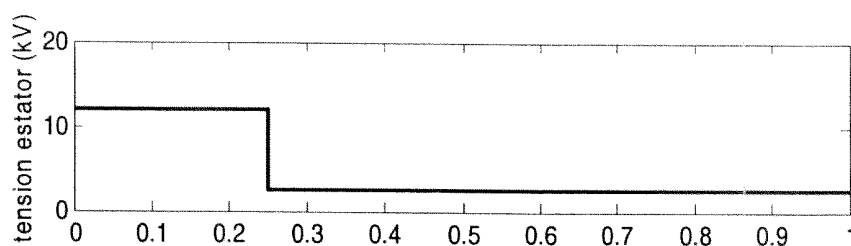


Fig.6a

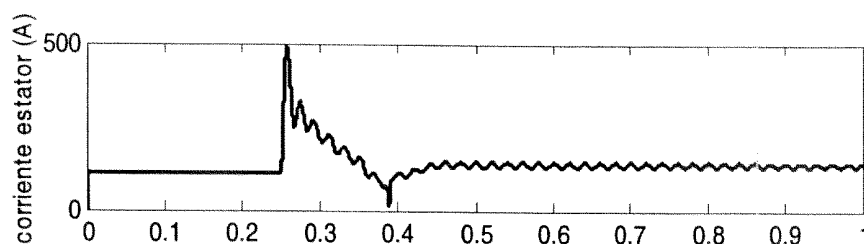


Fig.6b

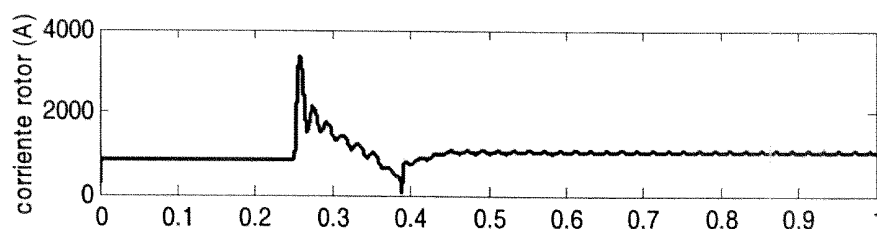


Fig.6c

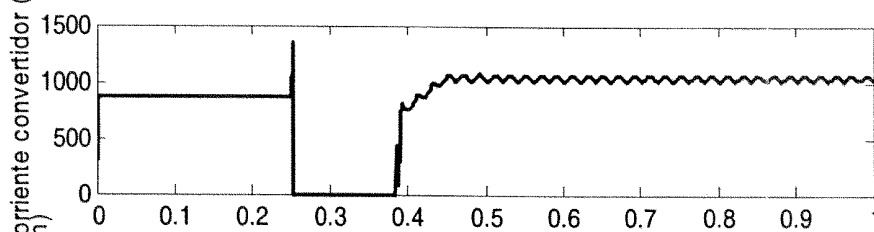


Fig.6d

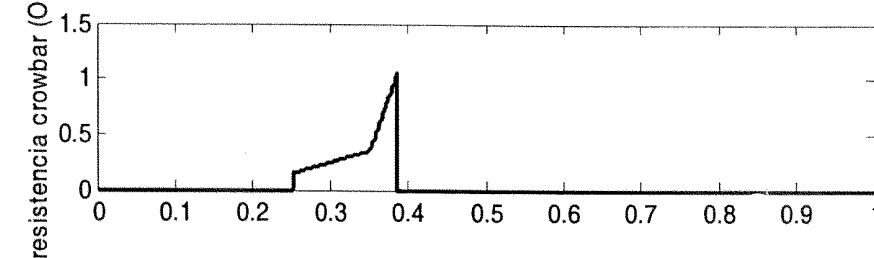


Fig.6e

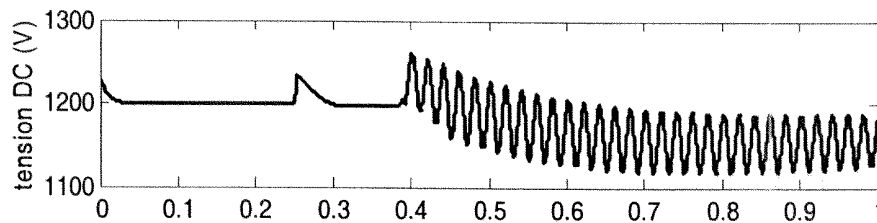


Fig.6f

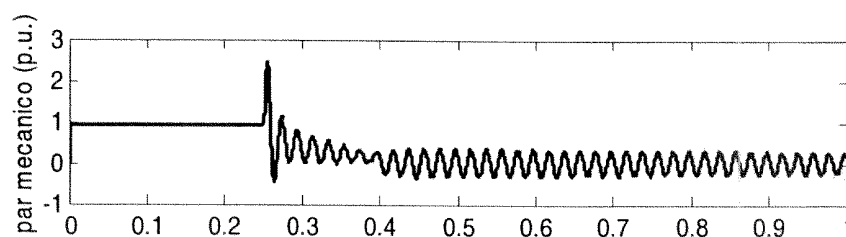
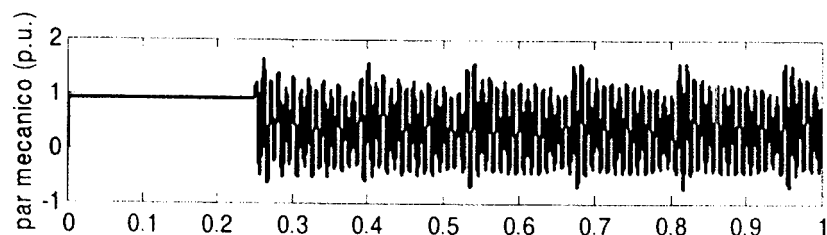
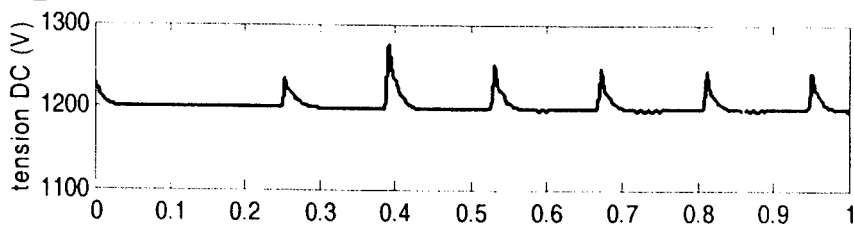
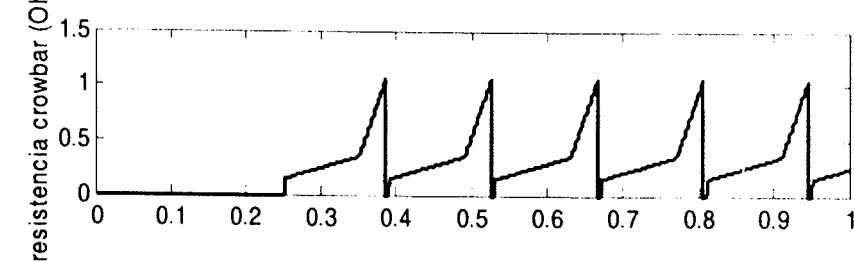
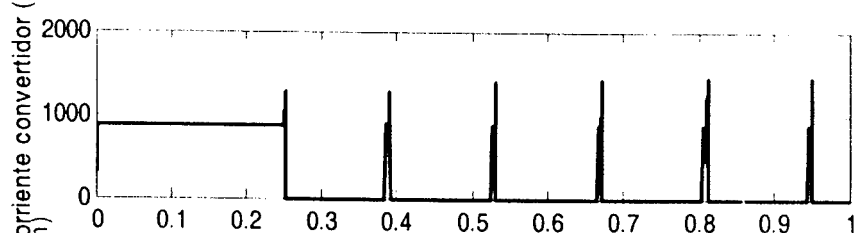
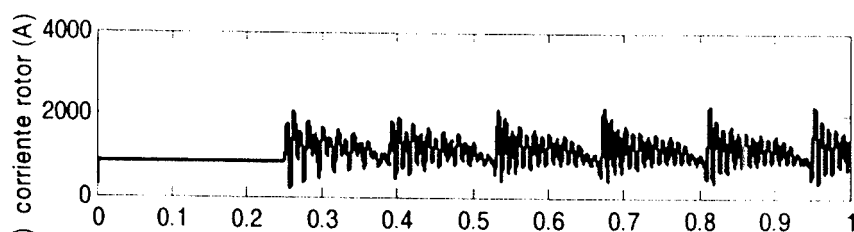
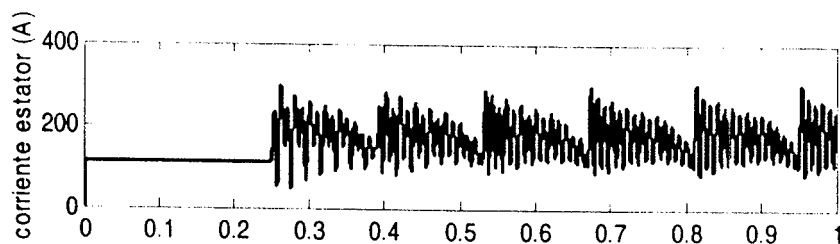
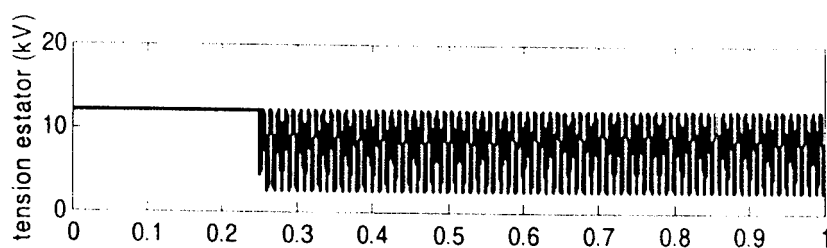


Fig.6g



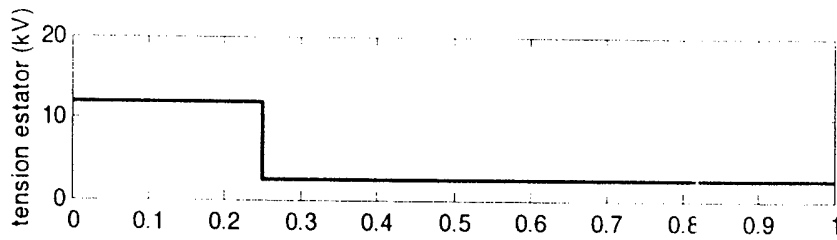


Fig. 8a

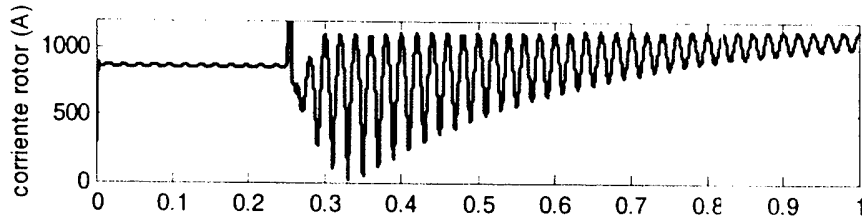


Fig. 8b

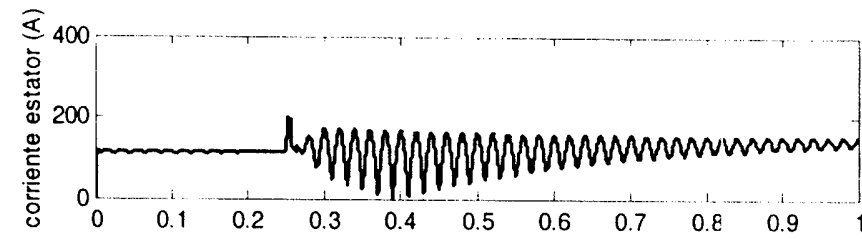


Fig. 8c

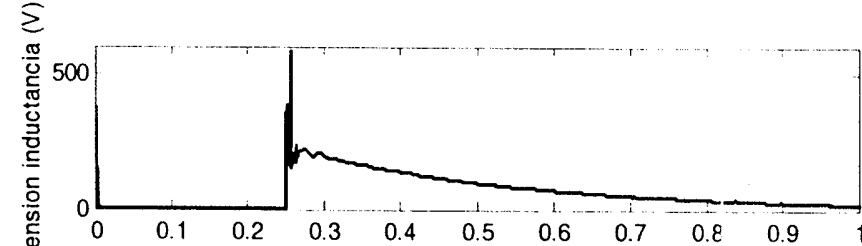


Fig. 8d

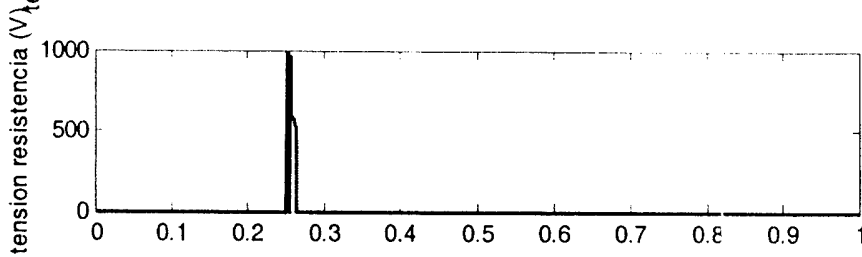


Fig. 8e

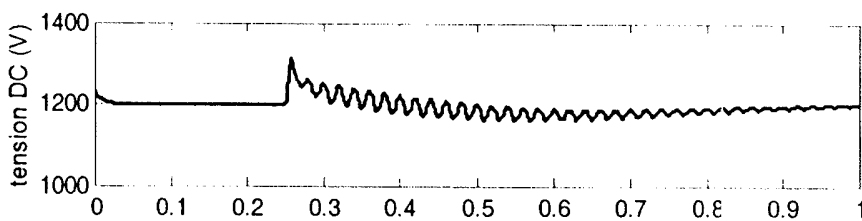


Fig. 8f

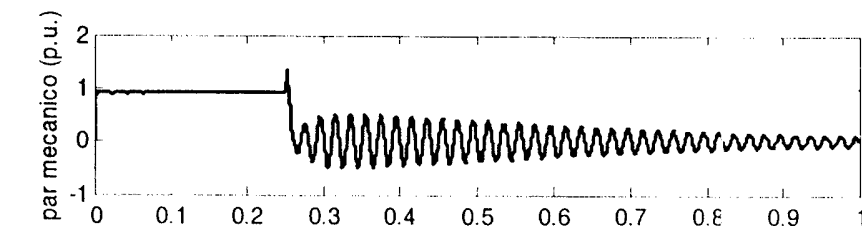
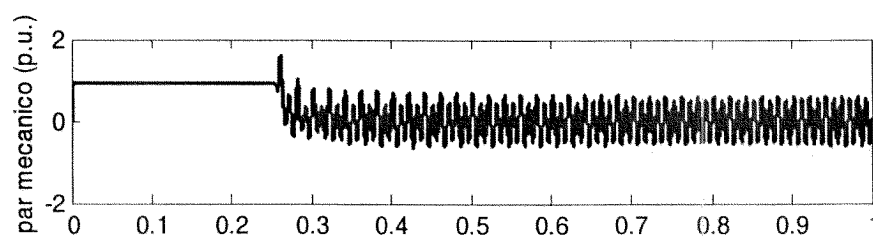
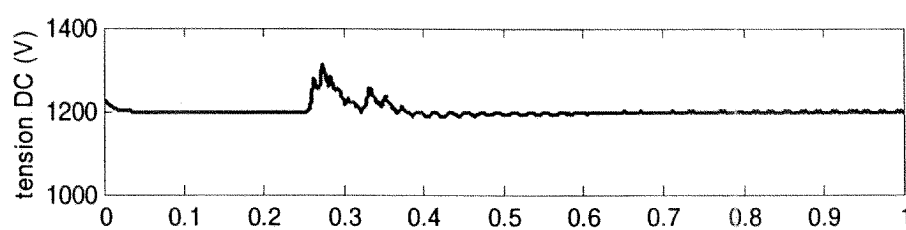
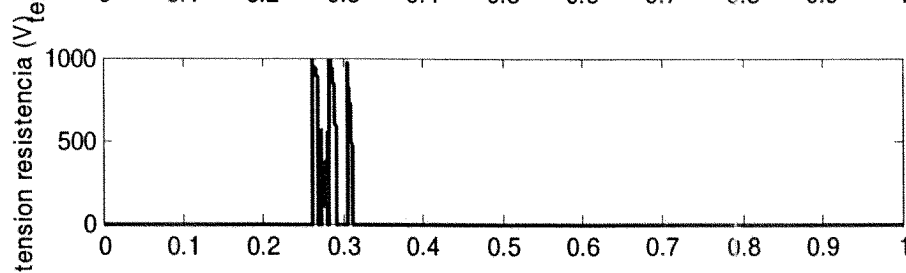
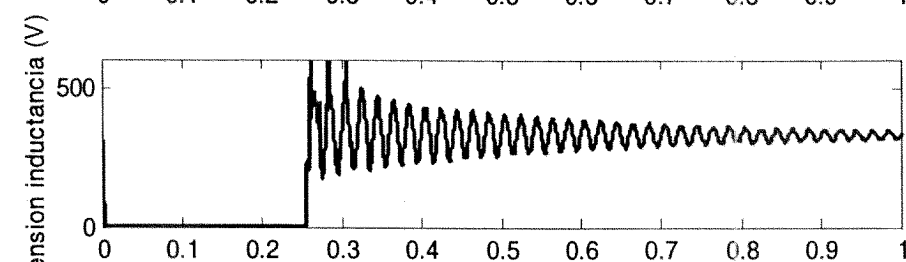
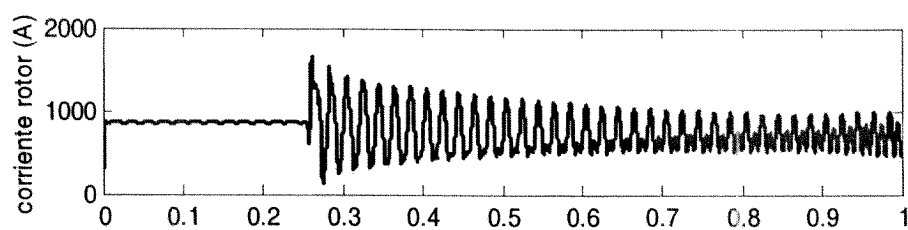
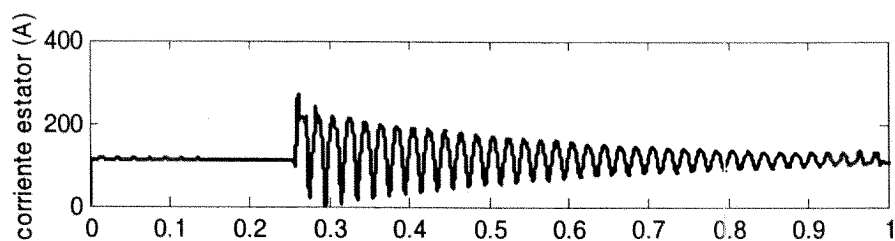
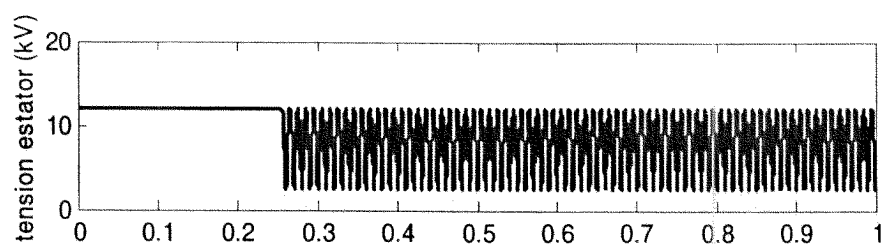


Fig. 8g





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 298 014

⑫ Nº de solicitud: 200503243

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	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	WO 2004098261 A2 (XANTREX TECHNOLOGIES) 18.11.2004, página 5, líneas 5-10; figuras 2,2A.	1-13
Y	HANNAN M.A. et al. Performance Evaluation of Solid State Fault Current Limiters in Electric Distribution System. Student Conference on Research and Development (SCOREd) 2003 Proceedings, Putrajaya, Malaysia 25-26 Agosto. 2003. Piscataway, NJ, USA. IEEE, US. ISBN 0-7803-8173-4.	1-4,7-11
Y	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 08-02-2008]. Recuperado de internet: <URL: http://www.elkraft.ntnu.no/en/Papers%202004/NORPIE04-Marvik-Bjorgum-Naess-Undeland-Gjengedal.pdf >. Página 4; figuras 11,12.	5,6,12,13
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 08-02-2008]. Recuperado de internet: <URL: ftp://ftp.elteknik.chalmers.se/Publications/Lic/PetersonAndreasLic.pdf >. Páginas 80-82,86-99.	5,6,12,13
A	US 2002079706 A1 (REBSDORF et al.) 27.06.2002, párrafo 11; figura 1.	1-4,7-11
A	BOSCOLO et al. No energy stored power conditioners for voltage sag compensation. Mediterranean Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98., 9th Tel-Aviv, Israel 18-20 Mayo 1998, New York, NY, USA,IEEE, US. ISBN 0-7803-3879-0. Vol. 2, páginas 1194-1198. Figura 5; página 1197, columna 1.	1-4,7-11

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

08.02.2008

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)

H02H 9/02 (2006.01)