UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI ICADE
COMILLAS
MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

INFORME

Sobre aspectos relacionados con la validez de la patente española ES 2 245 608 B1

EMITIDO

A solicitud de Wind to Power System S.L. (W2PS)

REALIZADO POR:

Dr. Aurelio García Cerrada

27 de Enero 2009

Versión: 1.0

Autor: Aurelio García Cerrada

Titularidad y responsabilidad

Conforme a los usos de la comunidad científica, las conclusiones y puntos de vista reflejados en los informes y resultados son los de sus autores y no comprometen ni obligan en modo alguno a la Universidad Pontificia Comillas de Madrid ni a ninguno de sus Centros e Institutos o al resto de sus profesores e investigadores.

CONTENIDO

1. PREÁMBULO....3

2. SOLICITUD DE DICTAMEN....3

3. NOTA PRELIMINAR....4

4. ESTUDIO DE LA VALIDEZ DE UNA PATENTE....4

5. ESTUDIO DE LA "NOVEDAD", "ACTIVIDAD INVENTIVA" Y "SUFICIENCIA DE DESCRIPCIÓN" EN LAS REIVINDICACIONES DE LA PATENTE OBJETO DE ESTE INFORME (ES 2 245 608 B)....5

5.1 Reivindicación 1. Descripción....5
5.2 Análisis de la suficiencia de descripción de la reivindicación 1....6
5.3 Análisis de la novedad de la reivindicación 1....6
5.4 Reivindicación 2. Descripción....7
5.5 Análisis de la suficiencia de descripción de la reivindicación 2....7
5.6 Análisis de novedad de la reivindicación 2....8
5.7 Reivindicación 3....8
5.8 Análisis de la suficiencia de descripción y de novedad en la reivindicación 3....9
5.9 Reivindicación 4....9
5.10 Análisis de la suficiencia de la descripción en la reivindicación 4....10
5.11 Análisis de la novedad de la reivindicación 4....10
5.12 Reivindicación 5....11
5.13 Reivindicación 6....11
5.14 Reivindicación 7....11
5.15 Estudio de los requisitos de suficiencia en la descripción y novedad de las reivindicaciones 5, 6 y 7....12

6. CONCLUSIONES....12

7. ANEXOS....15

1. Preámbulo

Aurelio García Cerrada, con DNI 51.891.853N (de ahora en adelante "el que suscribe" o "este perito"), con domicilio profesional en la Universidad Pontificia Comillas, calle Alberto Aguilera 23, 28015 Madrid, es Ingeniero Industrial (especialidad electricidad) por la Universidad Politécnica de Madrid (1986) y Doctor (Electronics and Electrical Engineering) por la Universidad de Birmingham del Reino Unido (1991). En Febrero de 1991 se incorporó como profesor del Departamento de Electrónica y Automática en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid (en adelante Comillas) y como investigador en el Instituto de Investigación Tecnológica de esa Escuela. Desde Julio de 2000 es Profesor Propio Ordinario en dicho Departamento del que fue director entre Octubre de 2001 y Octubre 2004. Desde el 1 de Noviembre de 2008, el que suscribe es Adjunto a la Coordinación del Área de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP).

Como profesor en Comillas, el que suscribe ha impartido clases del área de Automática y Sistemas y del área de Tecnología Electrónica (Electrónica de Potencia) en varias titulaciones de grado medio, de grado superior, Doctorado y Master. Su actividad investigadora y profesional se ha centrado en el campo del control de dispositivos de electrónica de potencia (convertidores estáticos) y su utilización para el control de máquinas eléctricas y en redes de transporte y distribución de energía eléctrica. En estos temas, el que suscribe ha dirigido 7 tesis doctorales y ha publicado varios artículos en revistas de prestigio y varias ponencias en congresos. Las contribuciones más recientes giran en torno al uso de convertidores c.c.-c.a. para el transporte flexible de energía eléctrica, la compensación de potencia reactiva y el filtrado de corrientes armónicas producidas por cargas no lineales en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

El que suscribe, cree tener la experiencia y titulaciones necesarias para declarar como perito en la materia objeto de este informe frente a Tribunales u otros órganos, así como para contestar a las preguntas formuladas por las partes.

2. Solicitud de dictamen

El que suscribe ha sido requerido por WIND TO POWER SYSTEM S.L. (en adelante W2PS), para que emita un informe sobre algunos aspectos que pueden afectar la validez de de la patente Española ES 2 245 608 B1 titulada "*Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red*" perteneciente a *GAMESA EÓLICA S.A.*

Se ha requerido a este perito que opine sobre la novedad y la actividad inventiva del procedimiento y el dispositivo propuesto en la patente y sobre la descripción que de ellos se hace desde el punto de vista de su posible implementación por expertos en el tema.

El que suscribe, gracias a su formación académica y experiencia profesional, se considera capacitado para emitir el informe solicitado y manifiesta que asume sin reservas y conoce lo dispuesto en el artículo 335.2 de la Ley de Enjuiciamiento Civil, por lo que promete decir verdad, actuar con la mayor objetividad posible, tomando en consideración tanto lo que pueda favorecer como lo que sea susceptible de causar perjuicio a cualquiera de las partes, y manifiesta, además, que conoce las sanciones penales en las que podría incurrir si incumpliese este deber.

3. Nota preliminar

Este peritaje se ha realizado a partir de la descripción de la patente Española ES 2 245 608 B1 (ver la referencia completa en [Pat.ES][1] y el texto en Anexo 0). Este perito supone que las características del dispositivo descrito son ciertas, y una vez aceptadas, emitirá su opinión razonada sobre la novedad de la patente en relación con el Estado del Arte en la fecha de solicitud y sobre la suficiencia de la descripción de la invención reivindicada en la patente ES 2 245 608 B1. Además, este perito está dispuesto a analizar información complementaria si se suministra, y en base a esa documentación, revisar este informe, si fuera procedente.

4. Estudio de la validez de una patente

Las patentes españolas se conceden sin garantía del Estado en cuanto a la validez de la misma, según el Art. 37.2 de la Ley de Patentes (LP) 11/1986, de 20 de Marzo.

De acuerdo con dicho artículo, los fundamentos para nulidad de una patente son los siguientes:

1. Patentabilidad: La materia de la patente no es patentable cuando no se cumplen los requisitos de patentabilidad contenidos en la LP, entre otros: novedad y actividad inventiva. Una invención será nueva cuando no está incluida en el Estado de la Técnica, mientras que una invención implica una actividad inventiva si no resulta del Estado de la Técnica de una manera evidente para el experto de la materia. *El Estado de la Técnica está constituido por tolo lo que antes de la fecha de presentación de la solicitud de patente se ha hecho accesible al público en España o en el extranjero por una descripción escrita u oral, por una utilización o por cualquier otro medio.*

2. Suficiencia de descripción: No existe suficiencia de descripción cuando la patente no divulga la invención de manera suficientemente clara y completa para ser llevada a cabo por una persona experta en la materia.

[1] La etiqueta corresponde a la que se ha usado en “Lista de documentos utilizados” que se ha incluido al final de este documento.

3. Enmiendas: El objeto de la patente se extiende más allá del contenido de la solicitud de la patente tal como fue presentada.

4. Titular: Cuando el primer titular de la patente no tuviera derecho a obtenerla conforme a lo dispuesto en el Artículo 10, apartado 1.

Según el mismo Artículo, apartado 2, si las causas de nulidad sólo afectan a una parte de la patente, se declarará la nulidad parcial mediante la anulación de la o las reivindicaciones afectadas por aquella. No podrá declararse la nulidad parcial de una reivindicación. Por ello, la nulidad se estudia reivindicación por reivindicación. Para que una reivindicación no sea nueva, se deben encontrar en un solo documento anterior todas las características técnicas combinadas de esa reivindicación, sabiendo que si una reivindicación es nueva, todas las que dependen de ella son nuevas, también.

Por último, según el apartado 3, del Artículo 112, cuando la nulidad sea parcial, la patente seguirá en vigor con referencia a las reivindicaciones que no hubieran sido anuladas, siempre que puedan constituir el objeto de una patente independiente.

5. Estudio de la "novedad", "actividad inventiva" y "suficiencia de descripción" en las reivindicaciones de la patente objeto de este informe (ES 2 245 608 B)

La patente ES 2 245 608 B1 consta de siete (7) reivindicaciones de las cuales, de la 1 a la 3 se refieren al procedimiento y de la 4 a la 7 se refieren al dispositivo. A continuación se recogen estas reivindicaciones separando las propiedades que se han identificado con una etiqueta para futuras referencias, si fueran necesarias. El primer número de la etiqueta corresponde a la reivindicación y los otros números hacen referencia a la propiedad que se describe. Si fuera necesario, se añadirán las interpretaciones necesarias convenientemente identificadas. A continuación se analizará primero la suficiencia de la descripción y, después, la novedad de cada una de ellas. Se entiende que si la reivindicación no está suficientemente descrita, podría ser difícil evaluar su novedad o su capacidad inventiva.

5.1 Reivindicación 1. Descripción

En la reivindicación 1 de la patente se cita:

1.1 Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca un hueco de tensión

1.2 incluyendo los pasos de monitorizar permanentemente de la tensión de la red y,

1.3 al detectar un hueco de tensión,

1.4 regular la tensión aportada a la red

1.5 de manera proporcional a la magnitud del hueco.

caracterizado porque

1.6 dicha regulación se lleva a cabo a nivel del parque,

1.7 manteniendo la tensión del parque en su valor nominal.

5.2 Análisis de la suficiencia de descripción de la reivindicación 1

Esta reivindicación describe la función principal del procedimiento al que se refieren la patente, pero no detalla suficientemente cómo se llevan a cabo los distintos pasos. La descripción detallada de la invención, explica cómo se lleva a cabo la detección del hueco, pero cuando se explica la generación de la tensión en serie que inyecta el dispositivo en la línea, las variables involucradas no se explican adecuadamente. En la opinión de este perito, el procedimiento no es obvio y debería explicarse con más detalle. Las reivindicaciones 2 y 3 podrían ir en esta dirección y se analizarán más adelante.

5.3 Análisis de la novedad de la reivindicación 1

El procedimiento descrito, de forma muy general, en esta reivindicación es el que se aplicaría asociado a un DVR (Restaurador Dinámico de Tensión, pero conocido por sus siglas en Inglés "Dynamic Voltage Restorer") para proteger una instalación sensible de un hueco de tensión (ver por ejemplo, [Pat.USA][2], traducida en el Anexo 1, [Woodly1999], traducido en el Anexo 2 o [Acha200]). En particular, el uso de un DVR para proteger un parque de aerogeneradores ya se propone en el informe del EPRI "Wind Power Integration Technology: Assessment and Case Studies" [EPRI][3].

Por lo anterior, este perito no aprecia ningún elemento de novedad en esta reivindicación 1.

[2] La etiqueta corresponde a la que se ha usado en "Lista de documentos utilizados" que se ha incluido al final de este documento.

[3] EPRI technical report, Ref. 1004806. Marzo 2004. Project managers: CC. McGowin y W. Steeley.

5.4 Reivindicación 2. Descripción

2.1 Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca un hueco de tensión, según la reivindicación 1 (propiedad 1.1)

caracterizado porque

2.2 dicha regulación de tensión comprende los siguientes pasos:

2.2.1 (i) Al detectar el hueco de tensión

2.2.1.1 generar una tensión alterna con amplitud y fase apropiadas, que sumadas a la de la red, mantenga la tensión del parque en cada una de las 3 fases.

2.2.2 (ii) Absorber parte de la potencia activa generada por el parque y

2.2.2.1 derivarla hacia un conjunto de resistencias de disipación de energía,

2.2.2.2 regulando de forma controlada la energía a disipar.

2.2.3 (iii) Regular la tensión aportada a la red.

2.2.3.1. adecuando su valor al del hueco de tensión, a medida que se restituye el valor de la tensión de la red.

2.2.4 (iv) Regular la potencia reactiva inyectada en la red, durante el hueco de tensión.

5.5 Análisis de la suficiencia de descripción de la reivindicación 2

Esta reivindicación complementa la descripción de los pasos a seguir para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica se desconecte de la red cuando se produzca un hueco de tensión en ella. Sin embargo, conviene destacar que:

1. Como se ha dicho la patente no describe adecuadamente cómo se genera la tensión necesaria (2.2.1.1).

2. Tampoco se describe el detalle de qué se propone para absorber con el dispositivo propuesto la energía generada por el parque (2.2.2) y derivarla hacia un conjunto de resistencias (2.2.2.1). Por ejemplo, no se describe cómo se regulará, de forma controlada, la energía a disipar (2.2.2.2), ni la topología del convertidor c.c./c.c. usado.

3. Tampoco se describe cómo se pretende regular la potencia reactiva inyectada en la red, durante el hueco de tensión.

En resumen, este perito estima que esta la reivindicación 2 debe explicarse mucho mejor para que pueda ser implementada por un experto en la materia.

5.6 Análisis de novedad de la reivindicación 2

Las propiedades 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 (2.2.3.1) y 2.2.4 tradicionalmente se reivindican para los llamados DVR (ver [Pat.USA] y [Woodey1999]). Estos dispositivos se utilizan para proteger una instalación de los efectos de un hueco de tensión en la red eléctrica. El detalle de cómo se llevan a cabo todas estas funciones, sí aparece descrito en la literatura previamente a la solicitud de la esta patente. Por otro lado, la aplicación de los DVR's para proteger instalaciones de aerogeneradores también se propone en la literatura [EPRI].

En relación con los DVR, la literatura sugiere la oportunidad de conectar algún almacenador de energía junto a la capacidad de la etapa de c.c del inversor ([Pat.USA] y [Woodey1999]) para permitir el intercambio de potencia activa (potencia real) en el punto de conexión (ver propiedad 2.2.2 de esta reivindicación). Si no se pretende nunca inyectar energía en el punto de conexión, el uso de resistencias para disipar la energía generada por el parque que no pueda entregarse a la red es una solución que se deriva rápidamente de la práctica habitual para evitar sobre-tensiones en la etapa de c.c. de un inversor. El uso de un convertidor c.c./c.c. para disipar la energía que sobra en una máquina eléctrica sobre unas resistencias, no es nuevo. De hecho, es el procedimiento habitualmente empleado en el frenado de motores eléctricos donde se aprovecha la reversibilidad de las máquinas eléctricas y la energía cinética del motor que no puede devolverse a la fuente de alimentación se disipa en resistencias para evitar sobre-tensiones en la etapa de c.c. del inversor. En esta aplicación concreta, estas resistencias reciben el nombre de "resistencias de frenado". También se han usado resistencias para disipar, de forma transitoria, la energía procedente de un aerogenerador y que no se puede inyectar en la red (ver [Pat.DE1] y [Pat.DE2], traducidas en el Anexo 4).

En resumen, este perito no aprecia novedad en la reivindicación 2 porque sus propiedades corresponden con las previamente reivindicadas para un DVR.

5.7 Reivindicación 3

3.1 Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca un hueco de tensión, según la reivindicación 1 (propiedad 1.1)

caracterizado porque

3.2 dichas máquinas son aerogeneradores

5.8 Análisis de la suficiencia de descripción y de novedad en la reivindicación 3

En opinión de este perito, esta reivindicación 3 no requiere este análisis.

5.9 Reivindicación 4

4.1 Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación eléctrica conectadas a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión

caracterizado porque comprende los siguientes elementos[4]:

4.2 (a) Un dispositivo de derivación (1) estático trifásico en MT y asociados con él

4.2.1 un interruptor automático (2)

4.2.2 y dos seccionadores (3).

4.3 (b) Un dispositivo de protección en baja tensión.

4.4 (c) Un transformador serie de BT/MT (4)

4.5 (d) Un inversor estático cc/ca (5)

4.6 (e) Un convertidor estático cc/cc (6)

4.7 (f) Un conjunto de capacidad (7) y

4.8 (fbis) Unas resistencias de disipación

4.9 (g) Un circuito de detección (10) del hueco de tensión en la red de MT

4.10 (h) Un circuito de control (20) conectado a los controles electrónicos (11, 15, 16) de los componentes (a) [ver propiedad 4.2], (d) [ver propiedad 4.5], (e) [ver propiedad 4.6] y a dicho circuito de detección (10) ver propiedad [4.9].

4.11 Estando, dichos componentes dispuestos para detectar el hueco de tensión en la red de MT (14) y, en ese caso,

4.12 Regular automáticamente la tensión aportada a la red en función de la magnitud del hueco de tensión,

---

[4] Nota del autor de este informe: Los números entre paréntesis en la descripción del dispositivo se refieren a los elementos incluidos en la figura de la patente y que se reproduce en la Fig. 1 de este documento.

4.13 Desviar hacia la capacidad (7) y la resistencia (8) la parte de potencia activa generada en el parque que no se inyecta en la red (14),

4.14 Manteniendo la tensión del parque en su valor nominal y

4.15 Regulando adicionalmente la potencia reactiva aportada a la red.

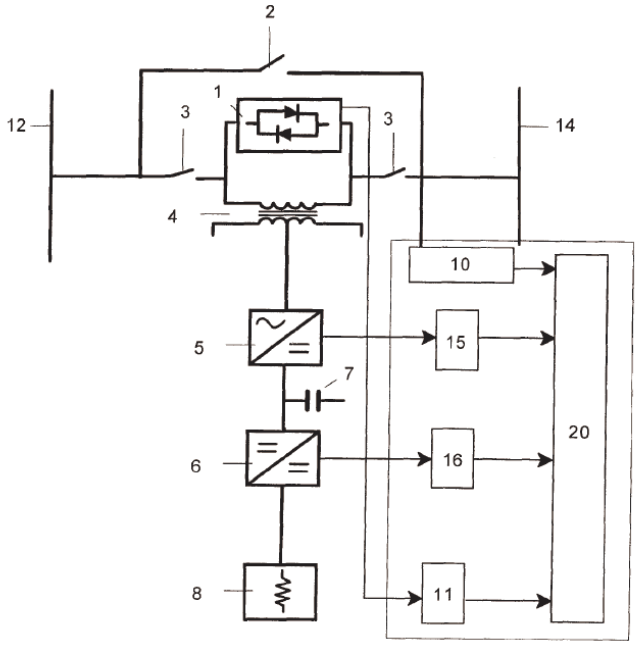


Figura 1: Dispositivo descrito en la invención recogida en [Pat.ES]

5.10 Análisis de la suficiencia de la descripción en la reivindicación 4.

En la reivindicación 4, un experto en la materia puede proponer, rápidamente soluciones descritas en la literatura para todos los puntos basado en la experiencia en DVR's (ver referencias anteriores) y en el uso de frenado a través de resistencias en el control moderno de motores eléctricos, por ejemplo. Es más, para muchos de esos puntos pueden proponerse varias soluciones con ventajas e inconvenientes y con características diferentes.

La descripción del dispositivo es demasiado general si se quiere implantar.

5.11 Análisis de la novedad de la reivindicación 4

El análisis realizado en la Sección 5.6 también puede aplicarse a la descripción de los elementos del dispositivo reivindicado en esta patente y, por tanto, este perito no aprecia

novedad en los elementos que componen el dispositivo porque corresponden con los que ya se han reivindicado para un DVR. Dado que en el caso que nos ocupa no se considera almacenar la energía que no se puede mandar a la red durante el hueco, esta energía se disipa en unas resistencias controladas mediante interruptores de estado sólido (convertidor c.c./c.c., en este caso) para evitar sobre-tensiones en la etapa de c.c. del inversor, como es habitual en situaciones similares.

5.12 Reivindicación 5

5.1 Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 4,

caracterizado porque

5.2 El circuito de detección (10) es capaz de detectar el valor de la amplitud y la fase del hueco de tensión en un tiempo inferior a 0,5 milisegundos

5.3 por medio de algoritmos de cálculo implementados en un microprocesador del circuito de control.

5.13 Reivindicación 6

6.1 Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión, según la reivindicación 4

caracterizado porque

6.2 El dispositivo en derivación (1) es capaz de activarse en un tiempo inferior a 150 milisegundos y de desactivarse en un tiempo inferior a 1 milisegundo.

5.14 Reivindicación 7

7.1 Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión, según la reivindicación 4

caracterizado porque

7.2 Dichas máquinas son aerogeneradores.

5.15 Estudio de los requisitos de suficiencia en la descripción y novedad de las reivindicaciones 5, 6 y 7.

Este perito entiende que, dado el contenido de estas reivindicaciones, no hay lugar a la realización del "análisis de novedad" ni "análisis de actividad inventiva".

Además, los algoritmos de detección y control no están descritos adecuadamente y los tiempos de actuación no se justifican.

6. Conclusiones

En este informe se han estudiado dos aspectos relacionados con la patentabilidad del procedimiento y dispositivo descritos en la patente española ES 2 245 608 B1 titulada "Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red" perteneciente a GAMESA EÓLICA S.A. Los elementos estudiados hacen referencia a la "novedad y la actividad inventiva" y la "suficiencia de descripción" de la patente y

Del análisis de la documentación estudiada se puede deducir que:

1. El procedimiento descrito en la patente a la que se refiere este informe, corresponde a la operación de un DVR que protege una instalación de un hueco de tensión en la red a la que está conectada. La energía procedente de la máquina generadora que no puede entregarse a la red durante el hueco, se disipa en unas resistencias, como es habitual en dispositivos de electrónica de potencia c.c./c.a.

2. El dispositivo descrito por la patente, también es equivalente a la configuración típica de un DVR.

3. Ni los elementos del dispositivo descrito por la patente, ni los algoritmos necesarios para llevar a cabo los procedimientos defendidos en la patente se describen con suficiente detalle para su implantación, ni siquiera por personal experto.

4. Como es habitual, en este informe se ha recogido la opinión de este perito en relación con todas y cada una de las reivindicaciones de la patente (por separado) sobre la que se ha emitido este dictamen.

5. A continuación se recoge la lista de las referencias utilizadas por este perito y la traducción (en Anexos) de algunos de esos documentos cuyo original está escrito en Inglés o en Alemán:

    Anexo 0: Patente ES 2 245 608 B1

    Anexo 1: Traducción de la patente de Estados Unidos USA 5,329,222 "APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA RESTAURACIÓN

DINÁMICA DE VOLTAJE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS”

Anexo 2: Traducción del artículo “EXPERIENCIA CON UN RESTAURADOR DINÁMICO DE VOLTAJE BASADO EN INVERSOR” de la revista Trans. On Power Delivery.

Anexo 3: Traducción de la parte relevante del informe de EPRI [EPRI].

Anexo 4: Traducción de las patentes alemanas DE 101 05 892 A1 y DE 102 06 828 A1.

Madrid 27 de Enero de 2009

Aurelio García Cerrada

Lista de documentos utilizados

[Pat.ES] "Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía de la red" Patente española ES 2 245 608 B1 (5-2-2007). Titulares: GAMESA EÓLICA S..A. Inventores: Llorete y Visires Guixot.

[Pat.USA] "Apparatus and method for dynamic voltage restoration of utility distribution networks" USA Patent: 5,329,222 (Jul. 12, 1994). Titulares:: Westinghouse Electric Corporation. Inventores: L. Gyugyi, C.D. Schauder, C.W. Edwards, M. Sarkozi.

[Woodley1999] N.H. Wooldley, L. Morgan, A. Sundaram (1999). "Experience with an inverte-based dynamic voltage restorer". IEEE Trans. On Power Delivery. Vol. 14. No. 3, July, pp 1181-11886.

[EPRI] "Wind Power Integration Technology: Assessment and Case Studies". EPRI Technical report, Ref. 1004806. Marzo 2004. Project managers: CC. McGowin y W. Steeley.

[Acha2002] E. Acha, V.G. Angelidis, O. Anaya-Lara y T.J.E. Miller. *Power Electronic Control in Electrical Systems*. Newnes Power Engineering Series, publicado por Butterworth-Heinemann en 2002.

[Pat.DE1] "Instalación de energía eólica y procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica" Patente Alemana DE 101 05 892 A1 (12-9-2002) [Título original: "Windenergieanlage und Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage].

[Pat..DE2] "Disposición de conmutación para el uso en una instalación de energía eólica". Patente Alemana DE 102 06 828 A1 (14-8-2003). [Título original: Schaltungsanordnung zum Einsatz bei einer Windenergieanlage]

7. ANEXOS

Anexo 0: Patente ES 2 245 608 B1

(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 245 608**

(21) Número de solicitud: 200401584

(51) Int. Cl.:

F02D 9/00 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

H02J 3/06 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN B1

(22) Fecha de presentación: **30.06.2004**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **01.01.2006**

Fecha de la concesión: **05.02.2007**

Fecha de modificación de las reivindicaciones: **10.01.2007**

(45) Fecha de anuncio de la concesión: **01.03.2007**

(45) Fecha de publicación del folleto de la patente: **01.03.2007**

(73) Titular/es: **GAMESA EÓLICA S.A.**
Parque Tecnológico Zamudio, Ed. 207-C
48170 Zamudio, Vizcaya, ES

(72) Inventor/es: **Llorente, José Ignacio y**
Visiers Guixot, Manuel

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

(54) Título: **Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red.**

(57) Resumen:
Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red.
Procedimientos para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión mediante el que, al detectar un hueco de tensión se regula la tensión aportada a la red de manera proporcional a la magnitud del hueco de tensión, desviando la parte de la potencia activa producida por el parque y no inyectada en la red hacia equipos de almacenamiento y/o disipación de energía, manteniendo la tensión del parque en su valor nominal.
La invención también comprende un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento que integra un "by-pass" (1), un transformador (4), un inversor estático (5), un convertidor estático (6), un conjunto de una capacidad (7) y una resistencia de disipación (8), un circuito de detención del hueco de tensión y un circuito de control (20).

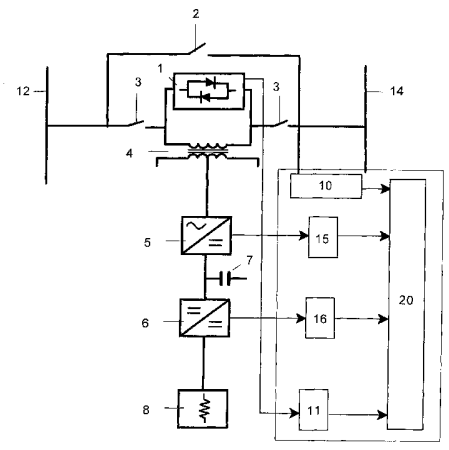


FIG. 1

ES 2 245 608 B1

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

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para evitar la desconexión de un parque de generación de energía eléctrica de la red cuando se produce en ella un hueco de tensión de especial aplicación a parques de aerogeneradores.

Antecedentes de la invención

La conexión de los aerogeneradores a las redes de distribución eléctrica, así como la utilización de los mismos como medio de alimentación de máquinas eléctricas, plantea problemas particulares respecto a otras formas de fuentes de energía. Para estos problemas se han propuesto diversas soluciones.

Uno de estos problemas radica en que se produzca un cortocircuito en la red que provocaría que las características de acoplamiento del parque de aerogeneradores se vieran modificadas. A este respecto, la patente DE 10206828 propone un sistema de control que detecta este cortocircuito en la red, desconectando de la misma el parque de aerogeneradores que, sin dejar de funcionar, posee medios para disipar y acumular la energía que produce hasta que, pasado el cortocircuito, puede volverse a conectar nuevamente a red.

Otro problema consiste en un sobrevoltaje en la red que afectaría al parque de aerogeneradores. La patente DE 10105892 propone un sistema de detección de este problema y la solución al mismo, disipando en forma de calor el exceso de energía producida.

La patente DE 19624809 propone un sistema de filtrado en la propia red de alterna para obtener una determinada señal de onda, mediante la variación de la velocidad de giro del rotor de una máquina eléctrica.

Por último, la patente US 5127085 limita o elimina las corrientes de avería de la red de alterna, que llegarían a tensionar los elementos internos de un alternador.

La técnica anterior no ha prestado, sin embargo, atención al problema planteado por los "huecos de tensión".

En la conexión a la red eléctrica de la salida de un parque de máquinas de generación eléctrica tales como aerogeneradores puede producirse un escalón brusco de tensión como consecuencia de defectos de la red. En esos casos, la actuación de las protecciones correspondientes ocasiona la desconexión de la parte defectuosa de la red lo que provoca un nuevo escalón de tensión en sentido contrario cuando se recupera el nivel de tensión existente antes del defecto. El conjunto de ambos escalones suele llamarse "hueco de tensión" que puede definirse por dos parámetros: la magnitud del escalón de tensión y la duración.

Un "hueco de tensión" puede llegar a provocar la desconexión de un parque de aerogeneradores de la red con los consiguientes efectos perjudiciales para la gestión de la propia red. Los escalones de tensión, perjudican además el funcionamiento de los aerogeneradores porque modifican bruscamente el par resistente afectando a la vida de las multiplicadoras. Resulta pues deseable disponer de procedimientos y dispositivos que eviten estos efectos. La presente invención ofrece una solución a esa necesidad.

Sumario de la invención

En un primer aspecto, la presente invención propone un procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica, tales como aerogeneradores, conectados a una red se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión, que comprende los siguientes pasos:

- Monitorizar permanentemente la tensión de la red;

- Al detectar un hueco de tensión en la red, desviar una parte de la potencia activa producida por el parque hacia un conjunto de una capacidad y unas resistencias de disipación, manteniendo la tensión del parque en su valor nominal y regulando la tensión aportada a la red de manera proporcional a la magnitud del hueco de tensión.

En un segundo aspecto, la presente invención propone un dispositivo para llevar a cabo el procedimiento mencionado que integra, como elementos principales, los siguientes:

a) Un dispositivo de derivación en media tensión;

b) Un dispositivo de protección en baja tensión;

c) Un conjunto integrado de un convertidor estático cc/cc + cc/ca y un transformador serie baja tensión/media tensión (BT/MT);

d) Un conjunto de capacidad y resistencias de disipación para absorber la potencia activa no inyectada en la red;

e) Un circuito de detección del hueco de tensión en la red de MT;

f) Un circuito de control del conjunto de elementos mencionados que permite que el conjunto del convertidor estático y el transformador genere la tensión necesaria para mantener la tensión del parque en su valor nominal y regule automáticamente la tensión aportada a la red por el dispositivo en función de la magnitud del hueco de tensión y para que el conjunto de la capacidad y las resistencias de disipación almacene y disipe la parte de la potencia activa generada por el parque que no se inyecta en la red. Este o circuito de control del dispositivo está conectado a los circuitos de control de los elementos mencionados y a sensores que permiten detectar instantáneamente los parámetros relevantes.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de una realización ilustrativa de su objeto en relación con el dibujo que se acompaña.

Descripción de las figuras

En la Figura 1 se muestra un esquema de conjunto con los elementos que componen un dispositivo según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

En una realización preferente, el procedimiento según la invención comprende los siguientes pasos:

a) Monitorizar permanentemente la tensión de la red;

b) Al detectar un hueco de tensión, generar una tensión alterna con la amplitud y fase apropiadas, que sumada a la de la red, mantenga la tensión del parque en cada una de las 3 fases;

c) Absorber parte de la potencia activa generada por el parque, y derivarla hacia un conjunto de resistencias de disipación de energía, regulando de forma controlada la energía a disipar;

d) Regular la tensión aportada a la red, adecuando su valor al del hueco de tensión, a medida que se restituye el valor de la tensión de la red.

Por su parte, describiremos seguidamente, siguiendo la Figura 1, una realización preferente de un dispositivo según la invención.

El dispositivo consta de los siguiente elementos:

a) Un dispositivo de derivación 1 ("by-pass") estático trifásico en media tensión con un circuito de control 11 que realiza las misiones de maniobra de arranque y parada, control de by-pass, actuación ante alarmas, comunicación con el exterior vía RS-232, presentación de alarmas, etc; Preferentemente, el dispositivo debe ser capaz de activarse en un tiempo inferior a 150 microsegundos y de desactivarse en un tiempo inferior a 1 milisegundo;

b) Un interruptor automático 2, asociado funcionalmente al dispositivo de derivación anterior;

c) Un dispositivo de protección en baja tensión con sus circuitos asociados;

d) Seccionadores 3 para operaciones de mantenimiento;

e) Un transformador 4 BT/MT, con su primario conectado en serie en el circuito de MT;

f) Un inversor estático cc/ca 5, con un circuito 15 para su control con un DSP que controla la generación de tensión con amplitud y con fase controlables, para restituir el hueco de tensión y para regular la aportación de potencias activa y reactiva de ambos signos;

g) Un convertidor estático cc/cc 6, con un circuito 16 para su control con un DSP que controla la tensión del bus de continua a través de la modificación de las bandas de tensión que permiten controlar el drenado de corriente continua hacia las resistencias de disipación;

h) Un conjunto formado por una capacidad de almacenamiento de energía 7 y varias resistencias de disipación 8;

i) Un circuito de control 10 con un DSP que realiza las funciones de cálculo del valor instantáneo de la tensión de red, determinación del hueco de tensión, frecuencia de la red y ángulo de la red, para la detección del hueco de tensión en la red de MT 14, capaz, preferentemente, de detectar el valor de la amplitud y la fase del hueco de tensión en un tiempo inferior a 0,5 milisegundos por medio de algoritmos de cálculo implementados en el microprocesador del circuito;

j) Un circuito de control 20 del conjunto de las unidades anteriores, conectado a los controles electrónicos 10, 11, 15, 16 asociados a cada una de estas unidades y que comprende los siguientes elementos:

- Sensores de tensión por fase para la medida de la tensión de red en el punto de salida del dispositivo;
- Sensores de tensión por fase para la medida de la tensión de red del parque 12;
- Sensores de intensidad por fase para la medida de la corriente inyectada por el parque en la red;
- Circuito de adaptación y filtrado de las medidas de tensión y corriente alternas;
- Sensores de tensión continua y su circuito de adaptación asociado;
- Sistemas de control de las protecciones electrónicas de manera que en caso de avería se asegure la continuidad de operación del parque.

El funcionamiento del sistema anteriormente descrito se describe a continuación.

En régimen estable de la tensión de red:

- El interruptor 2 está abierto.
- Los seccionadores 3 están cerrados.
- La derivación estática 1 está cerrada.
- El dispositivo de protección está abierto.
- El conjunto convertidor cc/cc+cc/ca 5 y 6 está en "parada caliente".
- La capacidad 7 está cargada a su tensión nominal.
- Las resistencias 8 no disipan energía.

Cuando el circuito detector del hueco de tensión en la red 10, detecta un hueco de tensión, caracterizado por la desviación de la tensión instantánea en valor superior a un umbral ajustable y durante un tiempo también ajustable, que en esta realización es del orden de 0,5 milisegundos, arranca el dispositivo según la presente invención, produciéndose los sucesos que se desarrollan a continuación.

En régimen transitorio "hueco de tensión":

- La derivación estática 1 se abre.
- El convertidor 5 arranca y genera una tensión cuyo valor instantáneo viene dado por:

$$\vec{Vi} = (\vec{V\ parque_i} - \vec{Vred_i}) \times N$$

donde:

$V\ parque_i$ = valor instantáneo de la tensión nominal del parque.

$Vred_i$ = valor instantáneo medido por el sensor de tensión de la red en media tensión.

N = relación de transformación.

- El transformador BT/MT 4 genera la tensión necesaria para mantener la tensión del parque en su valor nominal.
- El conjunto convertidor cc/ca 5 y transformador 4 permite absorber la potencia activa suministrada por el parque de aerogeneradores.
- La potencia activa produce una intensidad cc en la entrada del convertidor cc/ca 5, en el lado cc, la cual carga la capacidad 7.
- El convertidor cc/cc 6, por medio del sensor de intensidad cc, detecta esta intensidad y pone en marcha el control del convertidor, que inyecta la potencia activa en las resistencias de disipación 8 de forma controlada.

Este proceso transitorio continúa durante el "hueco de tensión" en la forma siguiente:

- El convertidor cc/ca 5 regula automáticamente la tensión que el transformador 4 inyecta en la red en cada una de las tres fases, reduciendo el aporte de tensión a medida que la red recupera su valor de tensión, acercándose al valor nominal.

- La potencia activa absorbida se reduce automáticamente de igual forma.

- El convertidor cc/ca 5 puede, adicionalmente, inyectar potencia reactiva en la red por medio del control del vector de tensión aportada, que se regula en módulo y en fase.

- El convertidor cc/cc 6 inyecta en las resistencias de disipación 8 la potencia activa necesaria, con valor decreciente, hasta que se produce la recuperación completa de la tensión de la red.

- El convertidor cc/cc 6 controla la intensidad instantánea que circula hacia las resistencias.

- El convertidor cc/cc 6 controla el rizado de intensidad que circula por la capacidad y lo reduce desviando las componentes alternas de intensidad a las resistencias.

Al recuperarse la red 14, el circuito detector del hueco de tensión en la red 10, detecta este restablecimiento, con lo que el conjunto de unidades pasa al régimen estable.

El dispositivo de protección en baja tensión asegura que en caso de mal funcionamiento o avería en el inversor, no se producen sobretensiones en el lado de baja del transformador.

En la realización preferente que acabamos de describir pueden introducirse aquellas modificaciones comprendidas dentro del alcance definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión, incluyendo los pasos de monitorizar permanentemente la tensión de la red y, al detectar un hueco de tensión, regular la tensión aportada a la red de manera proporcional a la magnitud del hueco de tensión, **caracterizado** porque dicha regulación se lleva a cabo a nivel del parque, manteniendo la tensión del parque en su valor nominal.

2. Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha regulación de tensión comprende los siguientes pasos:

i. Al detectar un hueco de tensión, generar una tensión alterna con la amplitud y fase apropiadas, que sumada a la de la red, mantenga la tensión del parque en cada una de las 3 fases;

ii. Absorber parte de la potencia activa generada por el parque, y derivarla hacia un conjunto de resistencias de disipación de energía, regulando de forma controlada la energía a disipar;

iii. Regular la tensión aportada a la red adecuando su valor al del hueco de tensión, a medida que se restituye el valor de la tensión de la red;

iv. Regular la potencia reactiva inyectada en la red, durante el hueco de tensión.

3. Procedimiento para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectadas a una red se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 1 **caracterizado** porque dichas máquinas son aerogeneradores.

4. Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión **caracterizado** porque comprende los siguientes elementos:

a) Un dispositivo de derivación (1) estático trifásico en MT y, asociados con él un interruptor automático (2) y dos seccionadores (3);

b) Un dispositivo de protección en baja tensión;

c) Un transformador serie de BT/MT (4);

d) Un inversor estático cc/ca (5);

e) Un convertidor estático cc/cc (6);

f) Un conjunto de una capacidad (7) y unas resistencias de disipación (8);

g) Un circuito de detección (10) del hueco de tensión en la red de MT;

h) Un circuito de control (20) conectado a los controles electrónicos (11, 15, 16) de los componentes a), d), e) y a dicho circuito de detección (10);

estando dichos componentes dispuestos para detectar un hueco de tensión en la red de MT (14) y, en ese caso, regular automáticamente la tensión aportada a la red en función de la magnitud del hueco de tensión, desviar hacia la capacidad (7) y la resistencia (8) la parte de la potencia activa generada por el parque que no se inyecta en la red (14), manteniendo la tensión del parque en su valor nominal y regulando adicionalmente la potencia reactiva aportada a la red.

5. Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el circuito de detección (10) es capaz de detectar el valor de la amplitud y la fase del hueco de tensión en un tiempo inferior a 0,5 milisegundos por medio de algoritmos de cálculo implementados en el microprocesador del circuito de control.

6. Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el dispositivo de derivación (1) es capaz de activarse en un tiempo inferior a 150 microsegundos y de desactivarse en un tiempo inferior a 1 milisegundo.

7. Dispositivo para evitar que un parque de máquinas de generación de energía eléctrica conectado a una red de MT (14) se desconecte cuando se produzca en ella un hueco de tensión según la reivindicación 4, **caracterizado** porque dichas máquinas son aerogeneradores.

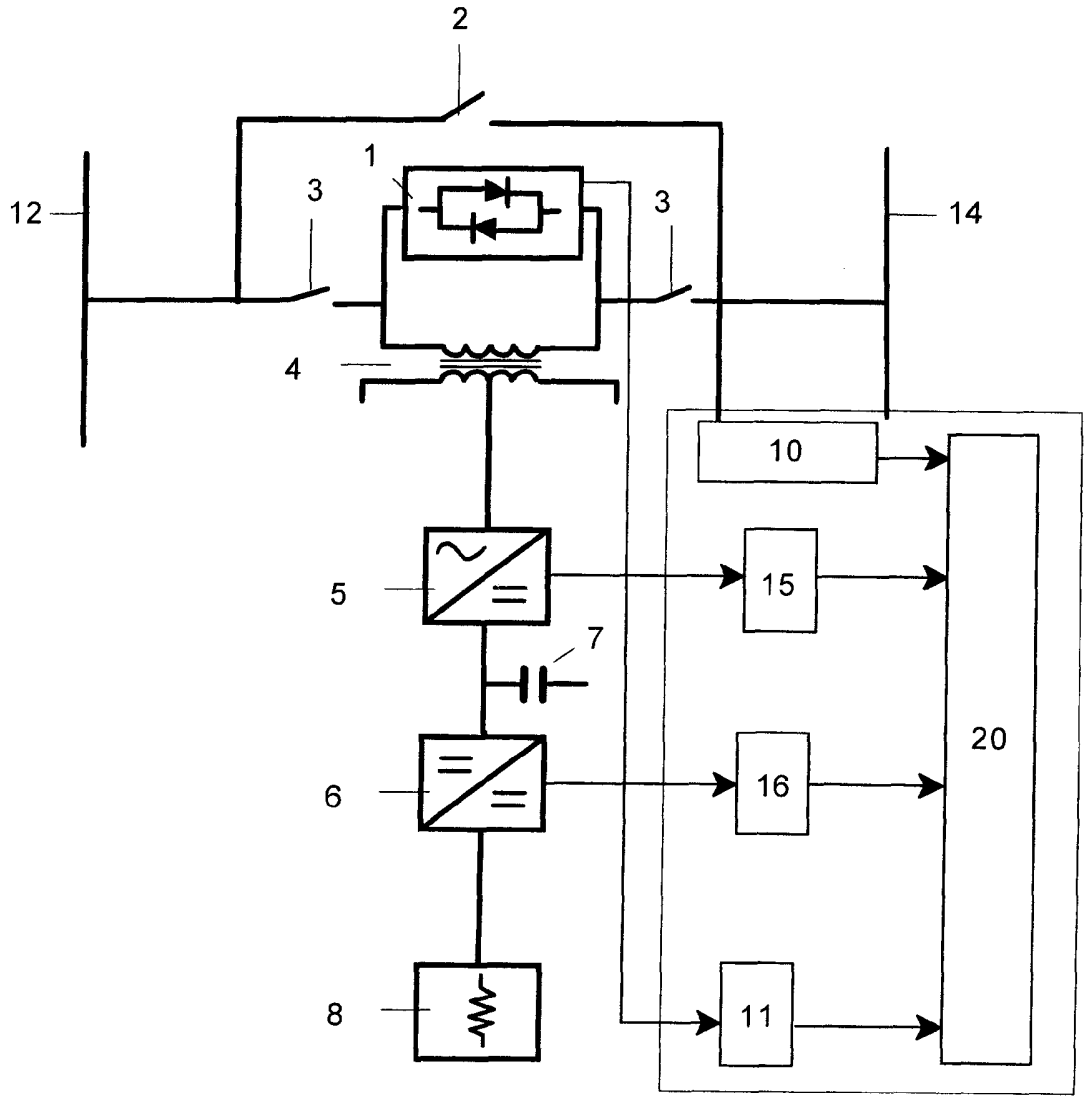


FIG. 1

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) ES 2 245 608

(21) Nº de solicitud: 200401584

(22) Fecha de presentación de la solicitud: **30.06.2004**

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

(51) **Int. Cl.**[7]: F02D 9/00, H02J 3/24, 3/06

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	DE 10119624 A1 (WOBBEN, A.) 21.11.2002, todo el documento, en especial párrafos 20,23.	1-3
Y		4-7
Y	EP 0877475 A1 (NORDEX BALCKE-DÜRR) 11.11.1998, todo el documento, en especial columna 2, líneas 18-22; columna 5 líneas 3-11,40-44.	4-7
X	DE 19624809 A1 (WEIER ELEKTROMOTORENWERKE GMBH) 02.01.1998, todo el documento.	1-3
A		4-7
X	DE 10105892 A1 (DAIMLER-CHRYSLER RAIL SYSTEMS GMBH) 12.09.2002, todo el documento.	1-3
A		4-7
X	DE 10206828 A1 (FEDERSEN LORENZ) 14.8.2003, todo el documento.	1-3
A		4-7
A	US 5127085 A (BECKER et al.) 30.6.1992, todo el documento.	1-7

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	Examinador	Página
16.11.2005	P. Valbuena Vázquez	1/1

Anexo 1: Traducción de la patente de Estados Unidos USA 5,329,222 "APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA RESTAURACIÓN DINÁMICA DE VOLTAJE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS"

(19) **Patente de Estados Unidos**

Gyugyi y col.

(11) **Número de patente: 5.329.222**

(45) **Fecha de patente: 12 de julio de 1994**

(54) **APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA RESTAURACIÓN DINÁMICA DE VOLTAJE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS**

(75) Inventores:
Laszlo Gyugyi, Penn Hills Township, Allegheny County; Colin D. Schauder, Murrysville; Charles W. Edwards, Monroeville; Miklos Sarkozi, Murrysville, todos de Pa.

(73) Cesionario
Westinghouse Electric Coroporation, Pittsburgh, Pa

(21) Número de solicitud: 983.492

(22) Fecha de presentación: 30 de noviembre de 1992

(51) Cl. int.: G05F 1/70

(52) Cl. EE.UU.: 323/207; 307/102; 307/105; 363/98

(58) Campo de búsqueda: 323/207; 307/105, 102; 363/95-98

(56) **Referencias citadas**

DOCUMENTOS DE PATENTE DE EE.UU.

4.903.184	2/1990	Hirose	363/37
4.994.981	271991	Walker y col.	323/207 X
5.041.959	8/1991	Walker	323/207 X
5.051.683	9/1991	Hirose y col.	323/207
5.198.746	3/1993	Gyugi y col.	323/207

Examinador principal - Emanuel T. Voeltz

APARATO Y PROCEDIMIENTO PARA RESTAURACIÓN DINÁMICA DE VOLTAJE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

1. Campo de la invención

Esta invención se refiere a circuitos para mantener voltaje constante en redes de distribución de compañías eléctricas y, más particularmente, circuitos para compensar dinámicamente perturbaciones eléctricas transitorias en el suministro a una red de distribución para reducir y eliminar sustancialmente interrupciones transitorias como caídas de voltaje.

2. Descripción de la técnica anterior

En los últimos años, los requisitos de calidad relacionados con la entrega de potencia eléctrica han aumentado drásticamente. La fabricación automatizada moderna y los controles de procedimientos usan maquinaria compleja y equipo de tratamiento de datos que emplean cantidades masivas de circuitos sofisticados, por ejemplo, circuitos de conmutación electrónica de estado sólido y similares. Tales circuitos se basan en potencia eléctrica sustancialmente libre de perturbación que es proporcionada por una red de distribución de compañía eléctrica. Debido a su funcionamiento básico y su estructura interna, muchos circuitos eléctricos modernos son sensibles a perturbaciones eléctricas y ruidos que pueden hacer que funcionen defectuosamente o incluso fallen, interrumpiendo a su vez o paralizando completamente la fabricación y otros procedimientos. Por ejemplo, es bien sabido que los ordenadores digitales y, por lo tanto las cargas de sistemas controlados por ordenador, son críticamente sensibles al mantenimiento de una señal uniforme de la compañía eléctrica. En consecuencia, las interrupciones o perturbaciones en el lado de la red de distribución que suministra potencia a estas cargas pueden causar desperdicio significativo de tiempo de producción y

material y fabricación, y pérdidas monetarias sustanciales en las operaciones comerciales.

Las perturbaciones de las redes de suministro de compañías eléctricas (transmisión y distribución) podrían estar causadas por una diversidad de razones. Las averías del equipo de potencia y fallos de aislamiento, conmutaciones de líneas, conmutaciones de condensadores, grandes energizaciones de transformadores y motores, y cargas no lineales como hornos de arco, mecanismos de velocidad variable, rectificadores, etc., son sólo unas pocas de tales causas. Tales perturbaciones transitorias, según se distinguen del fallo completo de alimentación, se manifiestan como interrupciones momentáneas del suministro de potencia, caídas de voltaje, transitorios de voltaje, variaciones de magnitud de voltaje, y armónicos. Por lo tanto, las caídas y transitorios de voltaje pueden estar causados por fallos o conmutaciones dentro de una línea particular de transmisión o distribución. Además, varias líneas en el sistema de transmisión y distribución pueden estar vinculadas a un solo bus, de manera que estas líneas en conexión en paralelo alimentan en efecto a un bus común. Debido a esta naturaleza de las redes de transmisión y distribución de potencia, los fallos y conmutaciones de una sola línea frecuentemente no tienen como resultado interrupciones de potencia en el bus o en otra línea conectada a ese bus, sino sólo caídas y transitorios de voltaje. La magnitud de tales caídas y transitorios depende de la longitud y la característica de impedancia de las líneas implicadas en la red general. Asimismo, pueden producirse componentes de voltaje armónico a través de la impedancia de línea por corrientes de carga armónica obtenidas por cargas no lineales. Estas y otras perturbaciones similares son de naturaleza transitoria, y se manifiestan normalmente por un cambio en la amplitud de cresta a cresta del voltaje de la compañía

eléctrica y/o picos transitorios y armónicos. En lo sucesivo, el término "perturbaciones" se referirá a cualquiera de estas condiciones.

El campo de esta invención es el de proporcionar una respuesta dinámica a una línea de distribución de potencia que lleva potencia a varias cargas, al menos algunas de las cuales son sensibles a perturbaciones de la línea de transporte de energía del tipo descrito anteriormente. El campo es similar a, pero distinto de, el del sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) que está diseñado para conectar entre la línea de transporte de energía eléctrica proporcionada por la compañía eléctrica y el equipamiento crítico, como un ordenador o elemento de almacenamiento de datos. El concepto de SAI es tener un dispositivo de energía de CC, normalmente una batería, que se mantiene en un estado cargado por conexión a la línea de transporte de energía, y emplear un inversor de CC a CA para convertir la potencia de la batería de CC en la potencia de CA deseada. Esto se lleva a cabo generando un voltaje alterno monofásico (o trifásico) que es idéntico al voltaje normal de la compañía eléctrica, es decir, tiene la misma frecuencia y amplitud, y está en sincronismo con él. Existen dos filosofías básicas con respecto a los dispositivos SAI. En una disposición básica, el sistema de batería/inversor normalmente proporciona la potencia para la carga crítica y se usa la línea de transporte de energía para mantener cargada la batería. Se emplea un conmutador de derivación para llevar la potencia de la compañía eléctrica directa a la carga sólo si el sistema de potencia /inversor falla. Esta disposición proporciona un aislamiento sustancialmente total del sistema de potencia de la compañía eléctrica, y de este modo puede proporcionar una pequeña cantidad de potencia que está esencialmente libre de perturbaciones del sistema. Sin embargo, tiene la desventaja de requerir equipamiento de

conversión de potencia que es operado normalmente a potencia nominal y, por consiguiente, puede introducir pérdidas apreciables, particularmente a niveles de potencia más elevados. Tal enfoque no es factible para compensación dinámica de perturbaciones transitorias en una línea de distribución que está proporcionando una cantidad significativa de potencia a las cargas unidas a ella.

En otra disposición de SAI, el sistema batería/inversor está conectado esencialmente en paralelo con el sistema de potencia de la compañía eléctrica, pero se mantiene normalmente en un estado de espera de manera que la demanda de potencia de la carga es proporcionada por el sistema de la compañía eléctrica por medio de un disyuntor rápido (preferentemente de estado sólido) que puede aislar el sistema de la compañía el defectuoso de la carga y la fuente de alimentación del sistema batería/inversor. Con tal SAI, en caso de una perturbación del sistema de potencia o pérdida de potencia durante un tiempo significativo, el disyuntor se abre y se alimenta a la carga directamente del sistema batería/inversor. Cuando el sistema de potencia es restaurado a su funcionamiento normal, el interruptor se cierra y el sistema batería/inversor vuelve al estado de espera, suministrándose la potencia directamente de la línea de la compañía eléctrica. En esta disposición, el equipamiento de conversión de potencia de nuevo es totalmente nominal, pero las pérdidas de funcionamiento y el coste son inferiores. La desventaja de esta disposición es que es difícil hacerla sensible a condiciones transitorias dinámicas rápidas, o perturbaciones de duración relativamente corta, de manera que los transitorios y armónicos pueden llegar a la carga. Además, si se reconoce una perturbación y se reacciona rápidamente a ella, entonces la batería debe alimentar a toda la carga durante

la duración de la perturbación. Aunque esto es una solución adecuada para cargas que consumen relativamente poca potencia, no es una solución apropiada para una red de distribución de la compañía eléctrica que en cualquier momento dado puede estar proporcionando una carga significativa. En consecuencia, la filosofía del SAI no es aceptable para el entorno de compañías eléctricas al que está dirigida esta invención.

Para regulación de voltaje de una línea de compañía eléctrica, el procedimiento de compensación de impedancia de línea en serie (es decir, capacitiva) es conocido en la técnica. Así, se sabe que las variaciones de voltaje en sistemas de transmisión y distribución pueden estar causadas por la caída de voltaje que se desarrolla a través de la impedancia de línea en serie normalmente inductiva como resultado de corriente de línea (carga) cambiante. Esta variación del voltaje disponible en la línea puede reducirse cancelando parcialmente la inductancia de línea, lo cual se hace conectando una cantidad predeterminada de capacitancia en serie con la línea. La función del condensador en serie es inyectar eficazmente un voltaje en la línea a la frecuencia fundamental para oponerlos a la caída de voltaje desarrollada a través de la impedancia de línea inductiva a la misma frecuencia. Esto tiene como resultado reducir la caída de voltaje a una equivalente a la de una línea de compañía eléctrica más corta con una inductancia menor. Además, se sabe que si un voltaje de CA que tiene una relación de fase en cuadratura con la corriente de línea a la frecuencia fundamental (es decir, el voltaje se atrasa respecto a la corriente 90 grados eléctricos), cuya amplitud se hace proporcional a la de la corriente de línea, se inyecta en serie con la línea, se obtiene una compensación en serie funcionalmente equivalente a la producida por un condensador en serie. Esta técnica, que

utiliza un inversor de estado sólido para inyectar la señal compensadora en serie con la línea, se desvela en la patente de EE.UU. Nº 5.198.746, concedida el 30 de marzo de 1993, y cedida al mismo cesionario que esta invención. Con esta técnica, la magnitud del voltaje de salida del inversor que se inserta en serie con la línea puede variarse continuamente, y su polaridad puede cambiarse de la representativa de un condensador a la de un inductor, por lo que la impedancia de línea efectiva puede variarse a lo largo de un amplio intervalo. Esta técnica es muy eficiente, y permite el mantenimiento del estado estacionario del voltaje de línea a una amplitud sustancialmente constante incluso en caso de grandes variaciones de corriente de línea. Sin embargo, no satisface la necesidad de compensación dinámica de perturbaciones que requieren una entrada de potencia real a la línea para efectuar la compensación. Por lo tanto, en caso de caídas de voltaje, o transitorios que representan un cambio dinámico de potencia real de otro modo sería suministrada a la carga, sigue habiendo una necesidad de un mecanismo eficiente y fiable para responder para minimizar las variaciones en la señal de la línea de distribución entregada a las cargas que están vinculadas a ella.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

Un objeto de esta invención es proporcionar un sistema y procedimiento para compensación de señales de línea de la compañía eléctrica que utiliza un circuito de compensación de energía parcial y transitoriamente nominal diseñado para reducir las caídas de voltaje y los transitorios de manera sustancialmente instantánea, es decir, dinámicamente, y que también puede proporcionar regulación de voltaje y reducción de voltaje armónico. La invención utiliza un sistema de almacenamiento e inversor de energía que puede generar un voltaje que se introduce

en serie con la línea de distribución de la compañía eléctrica para compensar cualquier desviación dinámica de la señal de la compañía eléctrica de la forma de onda de estado estacionario deseada. Como el sistema es operado sólo durante las perturbaciones de la compañía eléctrica, y sólo compensa diferencias respecto a una señal de referencia deseada de la compañía eléctrica, no se requiere, en general, proporcionar plena potencia a la línea. Como el sistema restaurador dinámico de voltaje de esta invención opera para proporcionar una potencia de salida sólo durante las perturbaciones del sistema, no requiere disyuntor para aislamiento de falla, su coste inicial es relativamente bajo, y su eficiencia es relativamente alta. De este modo logra un objeto primario de proporcionar medios para restaurar la calidad de la potencia eléctrica volumétrica dentro del sistema de distribución de compañía eléctrica, y no sólo en un punto donde una carga aislada está conectada a la línea de la compañía eléctrica.

En la práctica, el sistema de esta invención se realiza adecuadamente mediante cinco elementos básicos. Un dispositivo de almacenamiento de energía, como un gran condensador de almacenamiento de CC recargable desde la línea de la compañía eléctrica, proporciona una fuente de energía para proporcionar potencia real. Se usa un troceador para convertir la salida de suministro de energía (que puede tener un voltaje de CC variable) a un enlace de voltaje de CC constante. El voltaje de enlace de CC constante es convertido por un inversor en un voltaje de inyección de CA, bajo el control de un controlador que genera una señal de control dinámico como función tanto de la potencia real que ha de ser insertada dentro de la línea de distribución como de la corrección de voltaje requerida para mantener el voltaje de carga sustancialmente constante. La salida del inversor es

acoplada a través de un elemento de inyección, como un transformador, en serie con la red de distribución de potencia, de manera que la señal del voltaje primario procedente de la compañía eléctrica es vectorizada junto con la señal del voltaje insertado para mantener una señal de voltaje sustancialmente uniforme que esté disponible para la carga, es decir, las perturbaciones transitorias son compensadas dinámicamente por la señal del voltaje inyectado.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1A es un diagrama de bloques simplificado de la red que comprende el sistema restaurador dinámico de voltaje de esta invención.

La FIG. 1B es un circuito equivalente efectivo del sistema de esta invención.

La FIG. 1C es un diagrama vectorial que ilustra las corrientes y voltajes asociados al funcionamiento del sistema y procedimiento restaurador dinámico de voltaje de esta invención.

La FIG. 2A es un diagrama de circuito simplificado que muestra una realización de un troceador usado en una realización preferida de esta invención.

La FIG. 2B es un diagrama de circuito simplificado que muestra una realización de un inversor usado en una realización preferida de esta invención.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques simplificado de un circuito de control para controlar un troceador como se usa en esta invención.

La FIG. 4 es un diagrama de bloques simplificado que muestra el circuito de control para generar la señal (o señales) de control para controlar el circuito inversor de esta

invención.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

El sistema y procedimiento de esta invención utilizan la observación de que en la mayoría de los casos la potencia de la línea de distribución que alimenta a una o más cargas sensibles no se pierde totalmente. Esta invención está dirigida a la situación en que la magnitud del voltaje de línea durante la perturbación puede ser significativamente menor que el voltaje nominal, pero aún sigue siendo mayor que cero. Por lo tanto, desde la perspectiva de esta invención, la línea de distribución aún está suministrando un porcentaje de potencia normal, mientras que la perturbación representa una desviación de la condición de estado estacionario normal. Por lo tanto, una caída de voltaje puede verse como si alguna cantidad de voltaje de CA de frecuencia fundamental, con una amplitud que corresponde a la caída, es restada temporalmente del voltaje de línea. Igualmente, un transitorio de conmutación puede verse como un pico de voltaje con una componente de voltaje que decae exponencialmente (con un espectro de frecuencia determinado por los parámetros de impedancia de red) que se suma al voltaje de línea de CA normal. Se deduce que si tales componentes de voltaje temporales que son sumadas efectivamente al voltaje de CA fundamental por las perturbaciones para causar caídas y transitorios pueden cancelarse inyectando en la línea de distribución los mismos voltajes de perturbación con polaridad opuesta, entonces el voltaje de alimentación que se conecta a las cargas sensibles puede restaurarse de hecho a su forma original sin perturbar. Por lo tanto, la filosofía de diseño básica de esta invención es inyectar en serie con el voltaje de línea aquellas componentes de voltaje necesarias para invalidar y así anular las componentes causadas por las perturbaciones de red.

El sistema básico de esta invención se expone en la FIG. 1A. Se utiliza un dispositivo de almacenamiento de energía 31 para proporcionar la potencia necesaria para generar la señal de voltaje que se inyecta dentro de la línea de distribución 30. El dispositivo de almacenamiento puede ser un condensador de almacenamiento de CC relativamente grande, un banco de baterías, una bobina superconductora de almacenamiento de energía magnética, o similares. Por propósitos de ilustración, se supondrá que se utiliza un condensador de almacenamiento. En una realización preferida, se emplea una unidad de interconexión de inversor de CC a CC 32 entre el dispositivo de almacenamiento 31 y la unidad de inversor 35, inversor que es controlado para generar la señal de inserción. El propósito del convertidor 32 es gestionar el flujo de potencia bidireccional entre el dispositivo de almacenamiento 31 y el inversor 35 de manera que los niveles de funcionamiento del inversor puedan mantenerse en valores óptimos. En la práctica, en el procedimiento de restaurar y recuperar energía del condensador de almacenamiento 31, el voltaje a través del condensador de almacenamiento se varía necesariamente. Como existen ventajas de hacer funcionar el inversor a un voltaje de enlace de CC constante, el convertidor 32 se utiliza para transferir potencia de (o hacia) el condensador de almacenamiento (en los terminales B-B'). Como se analizó con más detalle anteriormente en este documento, el condensador de almacenamiento 31 se mantiene generalmente a un voltaje más alto, y la salida del convertidor 32, que está conectada al enlace de CC (terminales B-B', condensador 33, y terminales C-C') se mantiene a un voltaje constante. El voltaje fijo controlado procedente del enlace de CC es invertido en el inversor 35, bajo el control de la unidad de control 38, para proporcionar una señal de voltaje de salida representada como v_s, que es

insertada en serie en la línea de distribución 30 por el transformador 36.

Como se ve con más detalle más adelante, la unidad de control 38 recibe varias entradas representativas de diferentes corrientes y voltajes y altera dinámicamente la salida del inversor 35 para proporcionar generación instantánea de una señal v_s que es igual y opuesta a la perturbación, manteniendo así sustancialmente el voltaje en la línea 30 como una señal de frecuencia fundamental de amplitud constante, sin armónicos. Puede reconocerse que mientras que la función primaria del sistema, concretamente eliminar las caídas de voltaje o transitorios que requieren inserción de potencia real que se obtiene del dispositivo de almacenamiento de energía, el sistema también proporciona regulación de voltaje y reducción de harmónicos, lo que puede implicar sólo potencias reactiva de "armónica". Por lo tanto, el dispositivo de almacenamiento de energía sólo se usa raramente y durante ráfagas transitorias relativamente cortas durante las perturbaciones del sistema de potencia, y en todas las demás ocasiones pueden conseguirse mejoras adicionales de calidad de potencia mediante el inversor sometido al controlador 38. Como se analiza más a fondo más adelante en este documento, se utiliza una sub-parte de control 38 para controlar el funcionamiento del convertidor 32.

Haciendo referencia ahora a las FIGS. 1B y 1C, se analizan los diversos voltajes y corrientes en el sistema tal como se ha descrito. La FIG. 1B es un diagrama equivalente funcional del sistema restaurador dinámico de voltaje de esta invención, y proporciona una definición de las variables del sistema y sus convenciones de signos. Tal como se usan en este documento, los voltajes y corrientes representados por letras mayúsculas son variables de CC, mientras que los voltajes y corrientes

representados por letras minúsculas son transitorios, o variables de CA. En la FIG. 1B, los circuitos trifásicos alimentados por el inversor 35 se muestran simbólicamente en un formato de una sola línea, y los diversos voltajes y corrientes trifásicos se indican como vectores espaciales instantáneos. Esta representación vectorial es conveniente para análisis del comportamiento transitorio y coincide con la representación de sincronizador convencional bajo condiciones sinusoidales de estado estacionario equilibrado.

Como se ve en la FIG. 1B, el voltaje de CC V_c a través del dispositivo de almacenamiento 31, y la corriente I_c, son acoplados dentro de la unidad de troceador 32. La corriente de salida I_{dc2} se pasa a través de un inductor 41, con el voltaje de enlace de CC V_{dc} generado a a través del condensador 33. La corriente dentro del inversor 35 se ilustra como I_{dcI}. La corriente de salida i del inversor 35 es filtrada a través del inductor 42 y el condensador 43. Obsérvese que el voltaje v_s a través del condensador 43 está impuesto sobre el primer devanado del transformador 36. Para este análisis, se supone que el transformador 36 tiene una relación de transformación de 1:1, proporcionando un voltaje de inserción de v_s. El voltaje proporcionado aguas arriba del dispositivo de inserción 36 es v_{11}, y el voltaje de la línea distribuidora aguas abajo, que se proporciona a las diversas cargas vinculadas a la línea 30, se ilustra como v_{12}. La corriente por la línea se ilustra como i_1.

Las señales de CA relevantes se presentan en representación vectorial en la FIG. 1C. Para esta ilustración, el voltaje compensado que se entrega a la carga (v_{12}) se representa como un vector que tiene una magnitud constante y un ángulo de fase arbitrario. Por lo tanto, cualquiera que sea el factor de potencia de la carga, y cualquiera que sea la perturbación sobre la

línea, la longitud del vector v_{12} se representa como una constante, como se ilustra por el círculo al que apunta el vector v_{12}. Como se ve en este diagrama, v_{12} es igual a v_{11} más v_s. La diferencia de fase entre v_{11} y v_{12}, causada por la introducción de v_s, se representa como α; la diferencia de fase entre v_{12} y la corriente de carga i_1 es Φ (el voltaje se muestra atrasado respecto a la corriente).

Haciendo referencia ahora a la FIG. 2A, en ella se ilustra un troceador de dos cuadrantes, un bloque de construcción de circuitos perfectamente conocido, que se usa como el módulo de interconexión 32 para proporcionar un voltaje constante al enlace de CC del inversor. Las series de conmutadores superior (46) e inferior (46'), adecuadamente IGBTs, son conectadas y desconectadas alternativamente a una frecuencia elevada para controlar el valor medio de la corriente en el inductor 47, cuya salida está conectada al enlace de CC del inversor como se muestra en los nodos B-B'. El ciclo de servicio de conmutación, que es controlado por el controlador 38, es adecuadamente proporcional a la relación del voltaje del enlace de CC del inversor al voltaje del condensador de almacenamiento de energía 31. Como se analiza más detalladamente más adelante, el voltaje del enlace de CC del inversor se utiliza como parte del bucle de control para generar el punto de referencia para controlar la salida a través del inductor 47. Ha de observarse que pueden usarse circuitos de interconexión equivalentes, e incluso puede usarse un troceador de fases múltiples para incrementar el nivel de potencia cuando la corriente ya no puede incrementarse usando dispositivos mayores. Además, aunque tal circuito de interconexión de troceador se ilustra para la realización preferida, ha de entenderse que la invención no requiere un circuito de interconexión entre el elemento de almacenamiento y el módulo que genera el voltaje de inserción.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 2B, en ella se muestra un diagrama esquemático de un módulo inversor 35 adecuado. El módulo 35 toma el voltaje de enlace de CC a través del condensador 33, y lo transforma en señales de inserción para las tres fases, como se ilustra en los nodos de salida D', D" y D"'. El inversor ilustrado es un inversor estándar de tipo de fuente de voltaje de seis impulsos, que se hace funcionar con una estrategia de modulación de duración de impulsos (PWM) para lograr buena calidad de forma de onda y anchura de banda de gran control. La salida del inversor es filtrada para eliminar las componentes de alta frecuencia que resultan del procedimiento de modulación. El módulo inversor ilustrado es un circuito perfectamente conocido, entendiéndose que el control de PWM de cada serie respectiva de conmutadores (series superior e inferior para cada fase) puede producir una salida controlada para cada fase. La salida del inversor es filtrada en 42, 43 para eliminar las componentes de alta frecuencia que resultan del procedimiento de modulación, de manera que el voltaje imprimido en el lado del inversor del transformador de acoplamiento 36 prácticamente no tiene componentes de frecuencia no deseadas. Además, para incrementar la potencia del subsistema inversor pueden conectarse en paralelo módulos inversores adicionales entre los terminales C-C' y los condensadores de filtro de salida 43. Cada inversor tiene su propio inductor de filtro de salida 42, y la corriente de cada módulo inversor se regula por separado usando un punto de referencia común. Puede lograrse filtrado de modulación adicional, o una reducción de los tamaños de los componentes de filtro, escalonando la fase las portadoras para cada modulador inversor 360/N grados, donde N es el número de módulos inversores. Esta disposición es preferible para conexión directa en paralelo de dispositivos de potencia.

Se observa de nuevo que la combinación de un troceador e inversor de enlace de CC fijo es la realización preferida, por razones de coste y rendimiento. Sin embargo, es posible configurar un sistema sin un troceador, y hacer funcionar el inversor con un voltaje de enlace de CC variable, y con estrategia de modulación PWM apropiada. Además, aunque la invención se ha ilustrado utilizando un inversor de fuente de voltaje, puede implementarse igualmente una versión de fuente de corriente. Cualquier versión, con control aproximado, puede permitir la generación de un voltaje de inyección dinámico (v_s) que se añade en serie al lado de la fuente de la línea de transporte de energía. Tal como se usa en este documento, dinámica o dinámicamente se refiere a generación sustancialmente instantánea de una señal de inyección que compensa las variaciones de la norma en el voltaje primario, de manera que la señal de voltaje entregada a las cargas no se ve afectada sustancialmente por perturbaciones transitorias.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 3, se muestra un esquema simplificado de una realización para controlar el troceador, o el convertidor 32. Esta es una parte de lo que el solicitante llama la parte de control "interno" del controlador 38, y es un subsistema autónomo que sirve para regular el voltaje de salida de CC del troceador, V_{dc}. La señal de salida del troceador se compara con un valor de referencia V^*_{dc}, valor de referencia que es proporcionado por un circuito de señal de referencia convencional. En la comparación 52 se genera una señal de error que compara estos dos voltajes, y se pasa a través de un compensador integral positivo proporcional 53, 54, 55 para generar un valor de referencia I^*_{dc} para la corriente del troceador, I_{dc2}. La comparación entre esta señal de referencia y la corriente de CC real procedente del troceador, I_{dc2}, se hace en el circuito de comparación 57, usándose la señal

de error en un bucle de realimentación que actúa sobre el ciclo de servicio de conmutación del troceador. Como se ilustra en la FIG. 3, el control de troceador 58 se muestra como un simple controlador de tipo de histéresis. Esta disposición, o circuito de control equivalente, asegura que los terminales del lado de CC del inversor se mantienen a un voltaje sustancialmente constante mientras se pasa potencia al condensador de almacenamiento a través del troceador.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 4, se muestra el resto de la circuitería del controlador, dividida en lo que se llama la parte de "control interno" y la parte de "control externo". La parte de control interno está dedicada a controlar que el voltaje inyectado en serie, v_s, siga a un valor de referencia generado v_s^*. En otras palabras, la parte de control interno toma una señal generada externamente (v_s^*) y la usa para controlar la salida del inversor. La parte de control externo recibe señales del exterior del controlador, y genera el valor de referencia v_s^*.

Haciendo referencia primero a la parte de control interno, el voltaje inyectado en serie medido, v_s, se compara con la señal de referencia v_s^* en el circuito 84. El error detectado en el vector de voltaje en serie es amplificado en 86, para producir un vector de corriente de referencia, i^*. Este vector de referencia se compara con el vector de corriente de carga i, entregado desde el inversor en 88, para generar un vector de error i_e que se usa para controlar los ciclos de servicio de conmutación del inversor, y de este modo los voltajes de salida del inversor. En la FIG. 4, la señal de error se muestra en 90 transformada en tres señales de error de fase separadas, y aplicada a los moduladores 90A, 90B y 90C, para generar las señales de control del inversor.

El funcionamiento de la parte de control externo del

controlador, como se ilustra en la FIG. 4, se basa en la filosofía de control externo del restaurador dinámico de voltaje de esta invención. Los controles interno y externo están coordinados, como se muestra, y deben permitir regulación de flujo de potencia real. El control externo está diseñado para producir una acción resultante, concretamente generar una referencia de vector de voltaje en serie, v_s^*. Para definir esta demanda de voltaje en serie, el control externo trata de lograr los siguientes objetivos, enumerados en orden de prioridad:

a) limitar la corriente de la línea de transporte de energía (y por tanto la corriente del restaurador dinámico de voltaje) a un límite preestablecido, $\{i_{1\text{-}max}\}$;

b) mantener el voltaje del lado de la carga en un nivel nominal especificado; y

c) optimizar el flujo de potencia real del restaurador dinámico de voltaje a la línea de distribución. Dependiendo de las condiciones reinantes, el nivel de potencia óptimo es el valor positivo mínimo alcanzable, potencia de terminales nula, o un valor negativo adecuado para cargar el dispositivo de almacenamiento de energía.

Haciendo referencia a la rama superior del control externo, en ella se muestra un recorrido de limitación de corriente. La función de limitación automática de corriente no produce efecto hasta que el vector de corriente de línea medida se hace de mayor magnitud que el límite preestablecido. Esta comparación se hace en 72. Cuando la corriente de línea es mayor que la magnitud máxima predeterminada, todos los demás criterios para determinar V_s^* son anulados. En este caso, la señal de diferencia es amplificada en 74, y la señal se hace negativa en 76. En 80, el vector de voltaje del lado de la fuente, v_{11}, es multiplicado por la señal proporcionalmente negativa procedente de 76, y se

suministra a la puerta 82. Bajo estas circunstancias, se controla el voltaje inyectado en serie para reducir el voltaje del lado de la carga y mantener un nivel reducido de corriente de carga. Para todos los valores de corrientes de carga que tengan magnitudes menores que el máximo, se generan señales de diferencia de corriente positiva en 78 y se acoplan al multiplicador 70, para afectar a la magnitud de la señal de referencia de voltaje generada.

La parte del control externo que es generalmente operativa para generar la señal v_s^* genera un vector de referencia, v_{12}^*, que representa el valor deseado del vector de voltaje del lado de carga v_{12}. Esta referencia es un vector que tiene una magnitud y un ángulo, definiendo así el voltaje deseado del lado de la carga para cada fase sobre una base dinámica, o continua. Definiendo continuamente esta referencia vectorial, el restaurador dinámico de voltaje de esta invención es capaz de corregir dinámicamente desviaciones de voltaje, es decir, en un intervalo de tiempo inferior al ciclo. Para entender el problema resuelto al definir el vector v_{12}^*, se vuelve a hacer referencia a la FIG. 1C. El voltaje del lado de la fuente, v_{11}, se representa arbitrariamente como con una magnitud menor que la magnitud del voltaje nominal total, representando así una condición de caída. El factor de potencia del lado de carga se supone que está atrasado y es constante. El objetivo de esta invención es mantener la magnitud del voltaje del lado de la carga, $|v_{12}|$, en un valor constante, de manera el vector v_{12} debe estar situado en algún lugar sobre el lugar geométrico circular del radio según se muestra, con algún ángulo e respecto a v_{11}. El problema para el control externo es el de escoger la magnitud de $|v_{12}|$ y el ángulo α.

Se observa que la expresión para la potencia de terminal real entregada desde el almacenador a la línea,

es decir, a través del transformador 36, es la potencia a la carga menos la potencia procedente de la fuente de la compañía eléctrica, y se representa de la siguiente manera:

$$Pi=|i|[|v12|cos(\Phi)-|v_{11}|cos(\Phi-\alpha)]$$

la potencia de terminal DVR varía así sinusoidalmente como función del ángulo α, teniendo un valor mínimo cuando $\alpha=\Phi$. Este valor mínimo puede ser positivo o negativo, dependiendo de la relación de $|v_{11}|$ y $|v_{12}|$. Además, se ve que el aparato de esta invención será capaz de regular el voltaje del lado de la carga suministrando sólo potencia reactiva cuando la relación de $|v_{11}|$ a $|v_{12}|$ sea mayor que $\cos(\Phi)$.

Haciendo referencia de nuevo a la FIG. 4, se observa que la magnitud de $|v_{12}^*|$ puede ser una constante que representa el voltaje nominal del sistema, o puede ajustarse lentamente a la magnitud de v_{11} después de un retardo adecuado. En la realización mostrada, tal retardo es introduce en 64. El ángulo de v_{12}^* se ajusta por un algoritmo de búsqueda introducido en el bloque 62, que busca el punto de potencia óptima para entrega de potencia desde el restaurador dinámico de voltaje. Este procedimiento de búsqueda incorpora una estimación incremental de la derivada de la potencia con respecto al ángulo, de una manera perfectamente conocida. Desplazando α lentamente en la dirección de la potencia entregada decreciente, se encuentra un punto de funcionamiento donde la derivada se hace cero, pero proporciona potencia mínima o cero. Por lo tanto, la rutina de búsqueda llevada a cabo en el bloque 62, que es ejecutada preferentemente por un microprocesador y software adecuado, implica analizar la potencia suministrada por el inversor, p_i, y tratar de ver qué ángulo para v^*_{12} proporcionaría potencia mínima. Este ángulo, así como la magnitud procedente del retardo 64, se inserta dentro del circuito 66 que proporciona una señal

del vector de salida representativa tanto de magnitud como de ángulo. La referencia así generada, v_{12}*, se compara en 68 con el vector del lado de la carga v_{11}, y la diferencia se pasa a través del multiplicador 70 a la puerta 82 para generar la señal de referencia dinámica v_s*.

Lo que viene a continuación son ejemplos de procedimientos de búsqueda, o rutinas de búsqueda. Tal como se usa en estos ejemplos, delta = una pequeña perturbación que ha de sumarse o restarse del punto de referencia para búsqueda del mínimo o algún otro punto de referencia donde la pendiente de la función de control sea desconocida. Tal como se usa, potencia = el parámetro de búsqueda (son posibles otros parámetros de búsqueda).

Ejemplo de búsqueda de mínimo:

```
repetir sobre una base periódica:
old_power : = power;
setpoint : = setpoint + delta;
wait                    /*esperar respuesta a nuevo
punto de referencia*/
if(power > old_Power)setpoint : = setpoint - 2*delta;
```

Ejemplo de búsqueda de salida fija deseada:

```
repetir sobre una base periódica:
old_power : = power;
setpoint : setpoint + delta
wait                    /*esperar respuesta a nuevo
punto de referencia*/
if (((power < old_power) and (power < desired)) or
((power > old_power) and (power > desired)))
setpoint : = setpoint - 2*delta
```

Se observa que también es posible buscar un valor máximo.

Aunque se ha ilustrado una realización preferida para generar una señal de error (ie), se hace hincapié en que pueden utilizarse controladores equivalentes. El controlador 38 puede ser cualquier combinación deseada de

software y hardware, con la función y resultado de controlar la señal v_s para compensar dinámicamente las variaciones de perturbación en la señal de alimentación v_{11}. En el sistema y procedimiento de esta invención, es importante controlar la entrega de potencia real del restaurador dinámico de voltaje a la línea de alimentación de distribución de la compañía eléctrica, y preferentemente minimizar este flujo de potencia real.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para compensar perturbaciones en una línea de distribución de potencia insertando una señal que lleva potencia real a dicha línea cuando ocurre una perturbación, dicha línea recibiendo potencia de la compañía eléctrica a un voltaje primario desde un extremo de fuente y entregando potencia a un voltaje de carga a una o más cargas en un extremo de carga, comprendiendo dicho sistema:

un elemento de almacenamiento de energía para almacenar energía;

un generador de voltaje conectado operativamente a dicho elemento de almacenamiento, para generar dinámicamente una señal para inyección dentro de dicha línea para corregir las perturbaciones en la señal de voltaje procedente de dicho extremo de fuente;

un circuito de inyección para inyectar dicha señal de inyección dinámica dentro de dicha línea entre dicho extremo de fuente y dicho extremo de carga; y

un controlador para controlar dicho generador de voltaje como una función de la potencia real entregada a dicha línea por dicho circuito de inyección, por medio del cual se controla dicha señal inyectada para corregir dinámicamente la señal de voltaje entregada en el extremo de carga y entregar potencia real a dicha línea, para reducir el efecto de perturbaciones sobre la línea.

2. El sistema según se describe en la reivindicación 1, en el que dicho controlador controla el generador de señal para mantener la señal de voltaje entregada en dicho extremo de carga sustancialmente constante minimizando mientras tanto la entrega de potencia real del sistema a dicha línea.

3. El sistema según se describe en la reivindicación 2, en el que dicho elemento de energía es un elemento de almacenamiento de CC y dicho generador de voltaje comprende un inversor conectado operativamente para recibir potencia desde dicho elemento de almacenamiento de energía y proporcionar una señal de CA dinámica a dicho circuito de inyección.

4. El sistema según se describe en la reivindicación 3, que además comprende un convertidor conectado entre dicho elemento de almacenamiento de energía y dicho inversor, proporcionando dicho convertidor un voltaje de CC sustancialmente constante a dicho inversor.

5. El sistema según se describe en la reivindicación 4, que comprende un medio controlador de convertidor para controlar dicho convertidor para proporcionar dicho voltaje de CC sustancialmente constante a dicho inversor.

6. El sistema según se describe en la reivindicación 1, en el que dicho circuito inversor es un transformador.

7. El sistema según se describe en la reivindicación 1, en el que dicho controlador comprende medios para comparar la corriente entregada por dicha línea a dichas una o más cargas con un límite de corriente predeterminado, y para controlar dicho generador de señal para generar dicha señal de inserción para limitar dicha corriente de carga siempre que llegue a dicho límite predeterminado.

8. El sistema según se describe en la reivindicación 1, en el que dicho controlador tiene medios de señal de voltaje para generar una señal representativa de una señal de voltaje deseada en dicho extremo de carga de línea, y primeros medios de error para generar una señal de error

representativa de la diferencia entre dicha señal deseada y la señal de voltaje real en dicho extremo de carga de línea.

9. El sistema según se describe en la reivindicación 1, en el que dicho controlador comprende medios para generar una señal de referencia variable que representa la corriente deseada que ha de ser entregada desde dicho inversor, y segundos medios de señal de error para generar una señal de error representativa de la diferencia entre dicha señal de corriente deseada y la corriente real entregada por dicho inversor.

10. El sistema según se describe en la reivindicación 8, en el que dichos medios de señal de voltaje para generar dicha señal de voltaje de carga deseada comprenden medios para generar dicha señal para representar la potencia real mínima entregada a dicha línea.

11. El sistema según se describe en la reivindicación 10, en el que dichos medios de señal de voltaje comprenden un circuito de magnitud para desarrollar una señal representativa de magnitud de voltaje deseada y un circuito de ángulo para desarrollar una señal representativa del ángulo de dicha señal de voltaje deseada.

12. Un procedimiento de compensación de cambios en el voltaje entregado a una línea de distribución, siendo introducidos dichos cambios por perturbaciones en una red de la compañía eléctrica a la que está conectada dicha línea, teniendo dicha línea un extremo de fuente conectado para recibir una señal de voltaje primario desde dicha red de la compañía eléctrica y un extremo de carga conectado a una carga eléctrica, que comprende:

inyectar dinámicamente una señal de voltaje dentro de dicha línea en serie con dicho voltaje primario para compensar cualquier variación de voltaje debida a una perturbación;

desarrollar una señal representativa de potencia real entregada a dicha línea por dicha señal inyectada; y

ajustar dicha señal inyectada como una función de la potencia real entregada por dicha señal inyectada a dicha línea.

13. El procedimiento según se describe en la reivindicación 12, que comprende determinar una dirección de cambio de dicha señal inyectada para reducir la potencia real entregada manteniendo así mientras tanto una señal de voltaje del lado de la carga en un voltaje sustancialmente constante, y cambiar dicha señal de inyección en dicha dirección determinada.

14. El procedimiento según se describe en la reivindicación 13, que comprende ajustar el ángulo de dicha señal inyectada en relación con el ángulo de dicho voltaje primario, para minimizar la potencia real entregada por dicha señal inyectada manteniendo mientras tanto sustancialmente constante el voltaje entregado a la carga.

15. Un sistema para compensar perturbaciones en una línea de distribución de potencia, recibiendo dicha línea una señal de voltaje primario desde una fuente de compañía eléctrica en un extremo de fuente y entregando una señal de voltaje de extremo a un extremo de carga de dicha línea, comprendiendo dicho sistema:

una fuente de energía para entregar potencia durante las perturbaciones de línea;

medios generadores de voltaje conectados

operativamente a dicha fuente de energía y controlables para generar dinámicamente una señal para inyección dentro de dicha línea para entregar potencia a dicha línea y corregir perturbaciones en dicha señal de voltaje primario;

un circuito de inyección para inyectar dicha señal generada dinámicamente dentro de dicha línea entre dicho extremo de fuente y dicho extremo de carga; y

medios controladores para controlar dichos medios generadores de voltaje, teniendo dichos medios controladores medios de señal de control para generar señales de control como una función de la señal de voltaje entregada por la línea a dicho extremo de carga y de la potencia real entregada por dicho circuito de inyección dentro de dicha línea.

16. El sistema según se describe en la reivindicación 15, en el que dichos medios controladores comprenden medios de control de potencia para reducir la potencia real entregada por dicho circuito de inyección durante las perturbaciones manteniendo mientras tanto sustancialmente constante la señal de voltaje en dicho extremo de carga.

17. El sistema según se describe en la reivindicación 16, en el que dichos medios de control de potencia comprenden medios para determinar una dirección de cambio de dicha señal inyectada para reducir potencia real entregada de ese modo, y medios de cambio para cambiar dicha señal inyectada en dicha dirección determinada.

18. El sistema según se describe en la reivindicación 15, en el que dichos medios controladores comprenden medios de ajuste para ajustar el ángulo de dicha señal inyectada en relación con el ángulo de dicho voltaje primario para minimizar la potencia real entregada por

dicha señal inyectada manteniendo mientras tanto sustancialmente constante el voltaje entregado a la carga.

RESUMEN

Se proporciona un sistema y procedimiento que compensan los transitorios de la línea de distribución de la compañía eléctrica como de manera dinámica, insertando una señal de voltaje en serie con la señal de distribución que tiene una magnitud y fase para anular eficazmente la desviación de voltaje causada por una perturbación de la red. Se usa un dispositivo de almacenamiento de energía como un condensador de almacenamiento para proporcionar energía a un circuito inversor que es controlado para generar la señal insertada en serie. Preferentemente se utiliza un convertidor como un troceador entre el elemento de almacenamiento y el inversor, para proporcionar una entrada de CC constante al inversor. Un controlador genera una señal de error correctora basada en la desviación entre el voltaje de alimentación de la compañía eléctrica tal como es afectado por la perturbación, y la señal de voltaje ideal nominal, y ajusta el voltaje de inserción para optimizar la entrega de potencia real a la línea de distribución de la compañía eléctrica.

Siguen 5 hojas de dibujos numeradas correlativamente

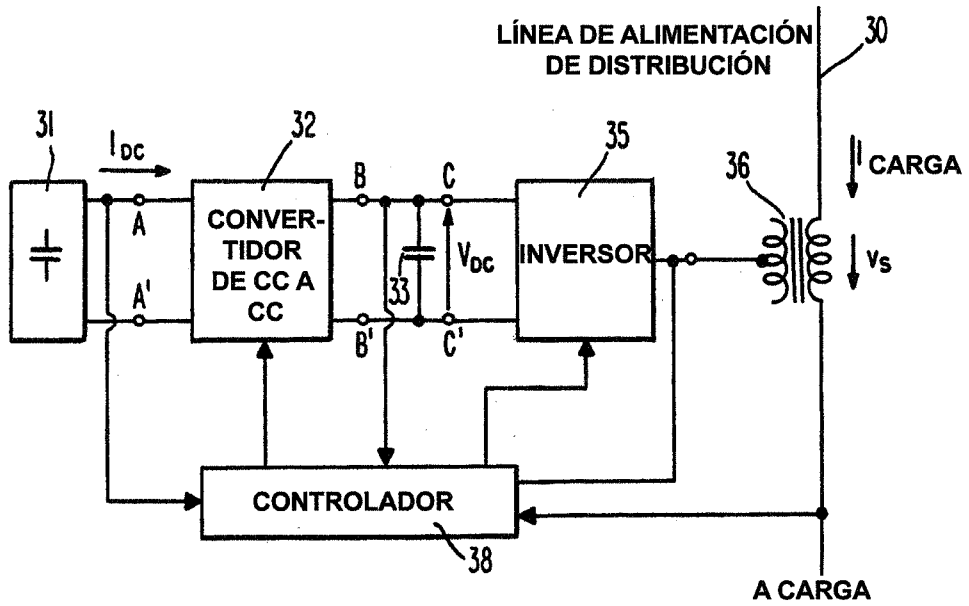

LÍNEA DE ALIMENTACIÓN
DE DISTRIBUCIÓN
30
31
I_{DC}
32
B
C
35
36
CARGA
A
CONVER-
TIDOR
DE CC A
CC
V_{DC}
INVERSOR
V_S
A'
33
B'
C'
CONTROLADOR
38
A CARGA

Fig. 1A

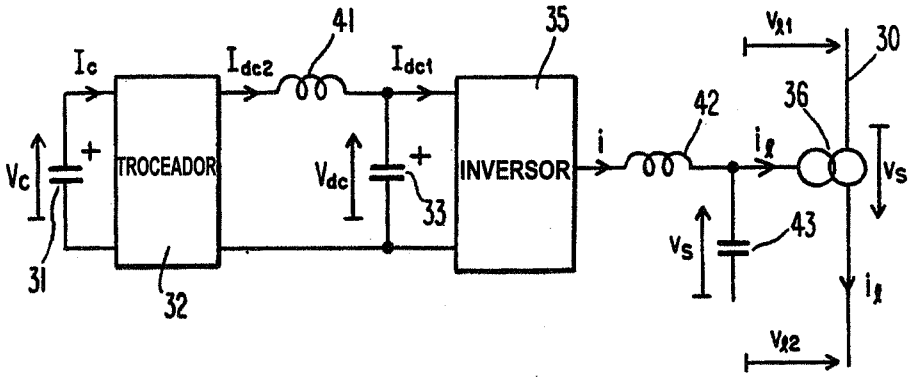

41
35
V_{l1}
30
I_c
I_{dc2}
I_{dc1}
36
42
i_l
V_c
TROCEADOR
V_{dc}
INVERSOR
i
V_S
33
43
V_S
i_l
31
32
V_{l2}

Fig. 1B

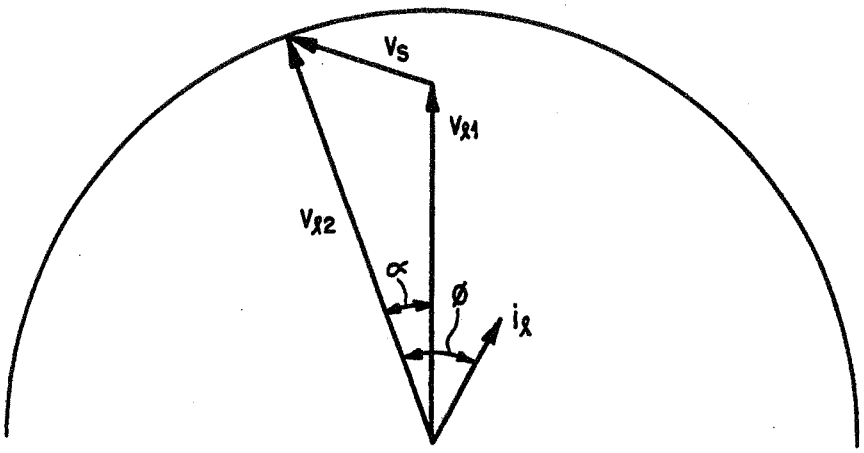
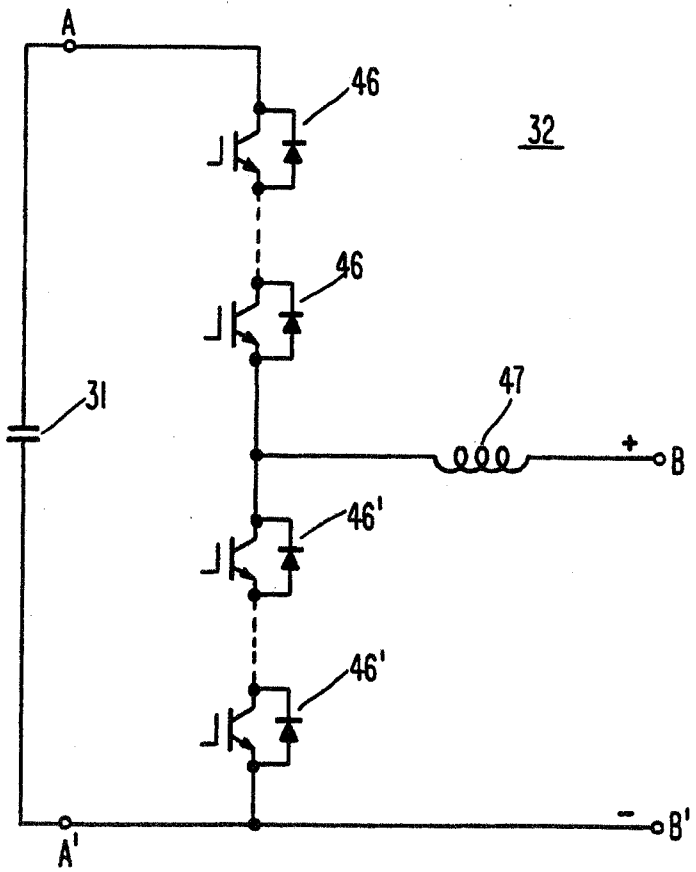


Fig. 1C



i . 2A

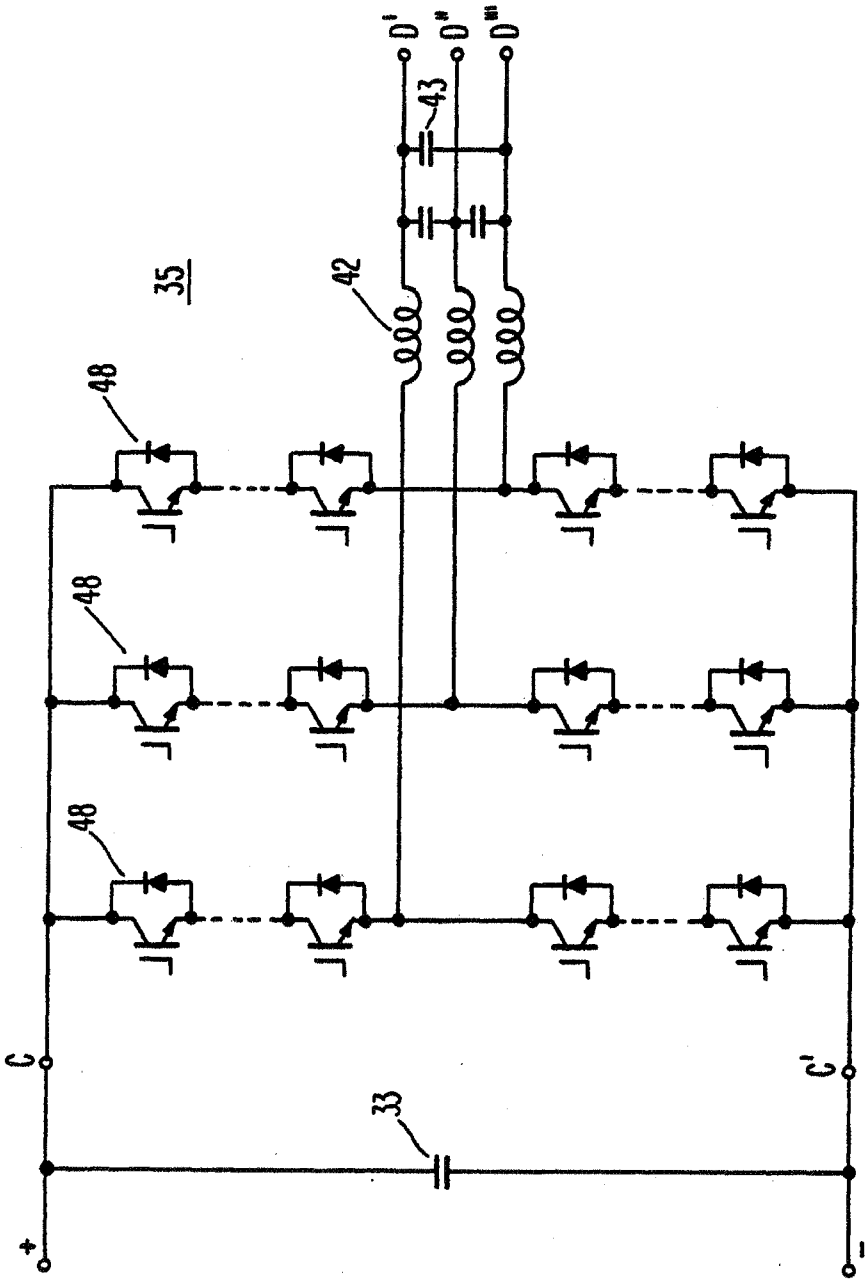


Fig. 2B

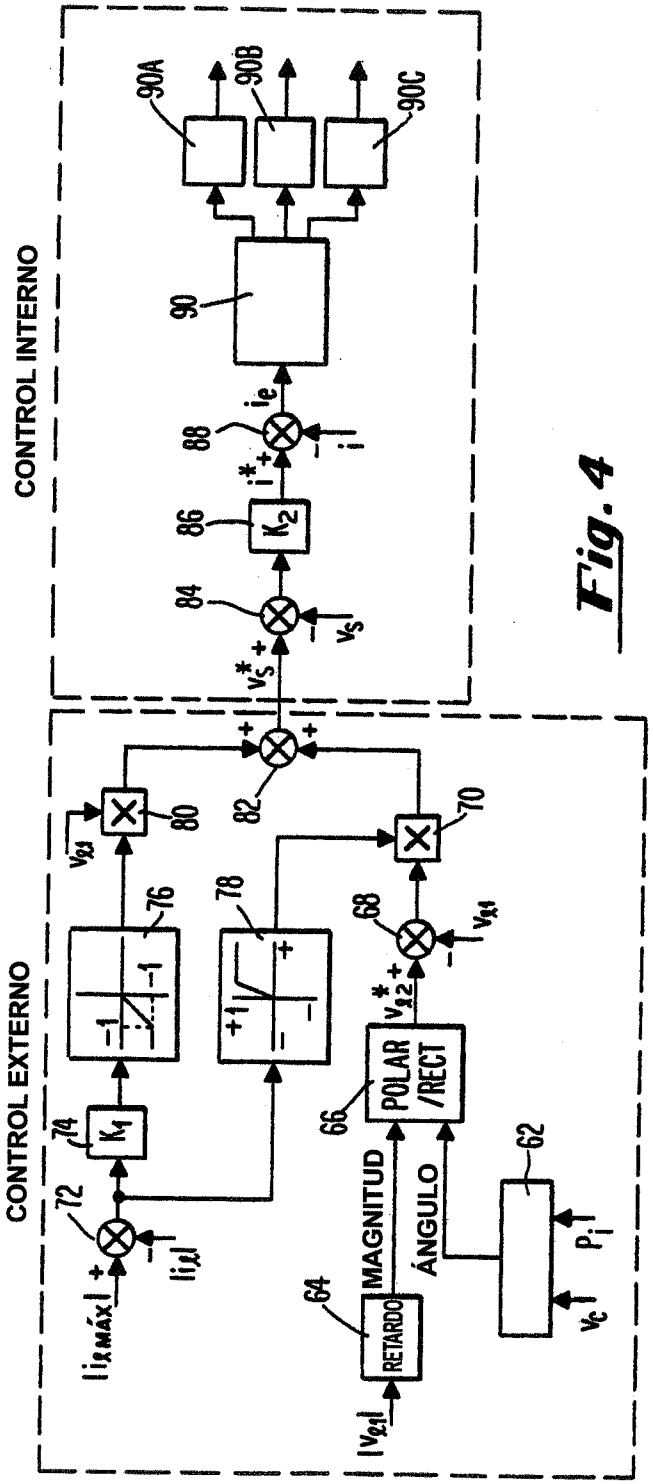

CONTROL INTERNO
CONTROL EXTERNO
90A
90B
90C
90
88
86
84
82
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
MAGNITUD
ÁNGULO
POLAR /RECT
RETARDO

Fig. 4

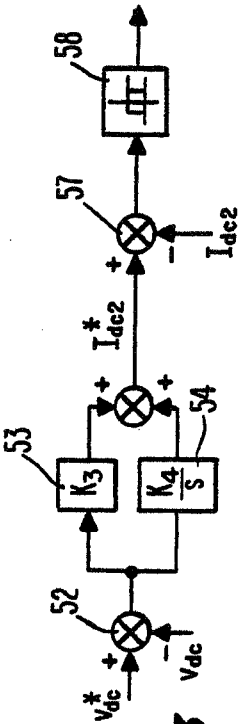

58
57
54
53
52

Fig. 3

Anexo 2: Traducción del artículo “EXPERIENCIA CON UN RESTAURADOR DINÁMICO DE VOLTAJE BASADO EN INVERSOR” de la revista Trans. On Power Delivery.

EXPERIENCIA CON UN RESTAURADOR DINÁMICO DE VOLTAJE BASADO EN INVERSOR

N.H. Woodley, Miembro Senior, IEEE
Westinghouse Electric Corporation
Pittsburgh, PA 15235 EE. UU.
L. Morgan, Miembro, IEEE
Duke Power
Charlotte, NC 28201 EE. UU.
A. Sundaram, Miembro, IEEE
Electric Power Research Institute
Palo Alto, CA 94304 EE. UU.

Resumen: la instalación del primer restaurador dinámico de voltaje (RDV) del mundo en un sistema de compañía eléctrica de EE. UU. para proteger una carga crítica de la planta del cliente de perturbaciones de voltaje del sistema de potencia marca el comienzo de una nueva era de solución de problemas de calidad de potencia por parte de la compañía eléctrica del medidor de facturación de ingresos. El prototipo de RDV construido por Westinghouse para EPRI fue instalado en agosto de 1996 en el sistema de 12,47 kV de la Duke Power Company (Carolina del Norte) en una fábrica de fabricación y tejido automatizados de hilo donde proporciona protección contra las perturbaciones procedentes del sistema de distribución de la compañía eléctrica que sirve a la planta. Este documento describe la instalación prototipo de RDV y presenta los primeros resultados del proyecto de demostración.

Palabras clave: inversor, IGBT, Acondicionador de potencia, RDV, Restaurador dinámico de voltaje, calidad de potencia, caída de voltaje, inserción en serie.

I. INTRODUCCIÓN

Los problemas de la calidad de potencia que tienen como resultado costosa pérdida de producción para procesos críticos crean un dilema tanto para la compañía eléctrica de servicio como para el cliente que consume energía. Como

el problema de pérdidas de producción ocurre en el lado del cliente del medidor, también es en el lado del cliente donde debe medirse el éxito de cualquier esfuerzo de atenuación de problemas de calidad de potencia. Sin embargo, la causa del problema puede originarse en cualquier lado. La solución óptima puede ser el resultado de la aplicación de soluciones de sistema y/o equipo de mejora de calidad de potencia en cualquiera de ambos lados [1].

Tradicionalmente, para problemas que se originan en el lado de la compañía eléctrica, el procedimiento ha sido trabajar en el lado del cliente para desensibilizar las cargas críticas "limpiando" mientras tanto los circuitos en el lado de la compañía eléctrica. Sin embargo, una vez que se han llevado a cabo estos esfuerzos, aún hay muchas situaciones en las que no es posible proporcionar suficiente mejora. En estos casos, las soluciones del lado del cliente normalmente se vuelven muy caras, por ejemplo, grandes sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), mientras que en el lado de la compañía eléctrica las opciones para construir nuevos circuitos o subestaciones dedicados pueden ser muy difícil y aun así no proporcionar el grado de mejora necesario (aislamiento).

Se llevó a cabo una inspección de clientes industriales y comerciales de compañías eléctricas durante los meses de mayo-junio de 1992 [2]. El propósito de la inspección fue determinar los criterios usados por estos clientes al tomar decisiones resultantes en la compra, instalación y operación de equipo de acondicionamiento de potencia para asegurar un servicio eléctrico aceptable libre de perturbaciones. En general, los clientes entienden que las interrupciones del servicio eléctrico no pueden eliminarse completamente en el sistema de potencia. Sin embargo, son mucho menos comprensivos cuando sus

procesos son alterados por perturbaciones momentáneas que normalmente son más frecuentes que las interrupciones completas del servicio eléctrico. La mayoría de los clientes a los que se preguntó expusieron que preferirían una solución proporcionada por la compañía eléctrica con el coste incluido en su factura de energía como alternativa a la compra, instalación y operación de su propio (perteneciente al cliente) equipo instalado in situ para la atenuación de perturbaciones de la línea de potencia. El Restaurador Dinámico de Voltaje (RDV) ha sido desarrollado como parte del Programa de Acondicionamiento de potencia de la compañía eléctrica para proporcionar justo tal solución. En la Fig. 1 se muestra el RDV prototipo en un recinto que se puede transportar en remolque.

II. RESTAURADOR DINÁMICO DE VOLTAJE

El RDV emplea dispositivos de conmutación de electrónica de potencia de estado sólido IGBT en una estructura de inversor modulado por duración de impulso (PWM) y es capaz de generar o absorber potencia real y reactiva controlable independientemente en su terminal de salida de CA. Su terminal de entrada de CC está conectado a una fuente de energía o un dispositivo de almacenamiento de energía de capacidad apropiada.

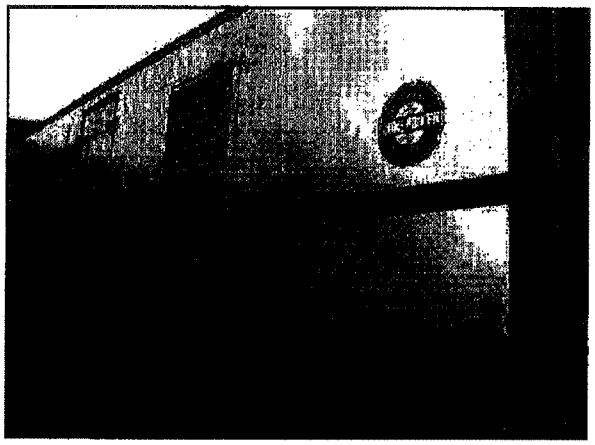


Fig. 1 Prototipo de RDV instalado en el sistema de Duke Power

El RDV es un convertidor de potencia de conmutación de CC a CA de estado sólido que inyecta un conjunto de voltajes de salida de CA trifásica en serie y sincronismo con los voltajes de la línea de alimentación de distribución. La amplitud y ángulo de fase de los voltajes inyectados son variables, permitiendo así control del intercambio de potencia real y reactiva entre el RDV y el sistema de distribución dentro de límites positivo (suministro de potencia) y negativo (absorción de potencia) predeterminados. La Fig. 2 muestra la estructura principal del inversor de PWM dentro del recinto de remolque portátil prototipo.

El intercambio de potencia reactiva entre el RDV y el sistema de distribución es generado internamente por el RDV sin ningún componente reactivo pasivo, por ejemplo reactores o condensadores. El intercambio de potencia real en los terminales de CA del RDV debe ser proporcionado en el terminal de CC del RDV por una fuente de energía o sistema de almacenamiento de energía externo.

En aplicaciones acondicionadoras de potencia, el RDV está conectado en serie con la línea de alimentación de

distribución. Insertando voltajes de amplitud, ángulo de fase y frecuencia (fundamental y armónica) controlables dentro de la línea de alimentación de distribución a través de un transformación de inserción en serie, el RDV puede "restaurar" la calidad del voltaje en los terminales de su lado de la carga cuando la calidad del voltaje de los terminales del lado de la fuente está significativamente fuera de la especificación para equipo de carga sensible. La Fig. 3 muestra el funcionamiento del RDV para restaurar el voltaje de línea a las cargas críticas durante caídas causadas por fallos en líneas de alimentación adyacentes o en el sistema de transmisión.

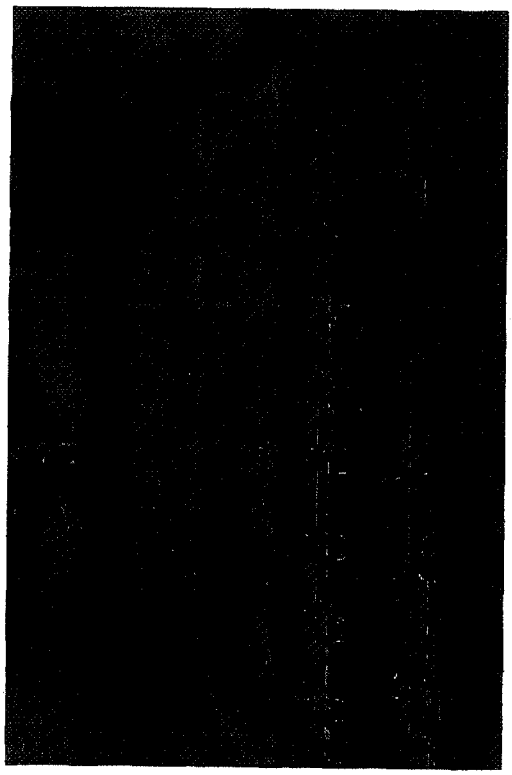


Fig. 2. La salida de dos inversores principales de PWM de 1 MVA se combina magnéticamente para proporcionar 2 MVA de capacidad de inserción.

Para grandes variaciones (caídas) en el voltaje primario, el RDV suministra potencia parcial a la carga desde una fuente de energía recargable conectada al terminal de CC del RDV. Durante las condiciones normales de voltaje de línea que siguen a la caída, el dispositivo de almacenamiento de energía es recargado desde el sistema de CA por el RDV. Incluso sin energía almacenada, el RDV puede compensar las variaciones de voltaje de las terminales debidas a variaciones de carga insertando un voltaje retrasado en cuadratura con la corriente de la carga proporcionando así compensación de línea capacitiva en serie variable continuamente. El RDV también puede limitar las corrientes de falla inyectando un voltaje en avance de fase en cuadratura con la corriente de falla incrementando así la impedancia de falla efectiva de la línea de alimentación de distribución.

III. INTERCONEXIÓN EN SERIE DEL RDV

El RDV se conecta en serie a la línea de alimentación de distribución primaria de la compañía eléctrica. Se requiere la interconexión en serie como la mostrada en la Fig. 3 para permitir que la forma de onda del voltaje insertado se sume al voltaje del sistema de la compañía eléctrica. La suma del voltaje de línea y el voltaje de inserción se convierte en el voltaje restaurado visto por la carga crítica. Como está conectado en serie, el RDV verá la corriente de carga total así como cualquier corriente de falta debida a fallos aguas abajo. La potencia nominal de los inversores del RDV se convierte en el factor limitador para la corriente de carga normal vista en los devanados primarios y reflejada en los devanados secundarios del transformador de inserción en serie.

Para corrientes de línea que exceden la potencia

nominal del inversor, se incorpora un esquema de derivación para proteger la electrónica de potencia. El equipo de interconexión empleado en la derivación se muestra en la Fig. 4. Como el interruptor de derivación principal es un interruptor electromecánico convencional que se cierra a través del devanado primario del transformador de inserción en serie, el tiempo de cierre es típicamente de 4 a 6 ciclos. Durante este tiempo de cierre, se proporciona protección a la electrónica de potencia mediante un conmutador cortocircuitador de tiristor SCR de estado sólido que se cierra a través de los terminales secundarios del transformador de inserción.

El sistema de derivación es el medio por el que el equipo RDV es protegido de la carga de aguas abajo anormalmente alta o las corrientes de falla. Es un sistema "a prueba de fallo" porque el RDV puede ser sacado de la línea o vuelto a colocar en la línea sin perturbar la carga crítica del cliente. Los conmutadores de aislamiento mostrados en la Fig. 4 realizan la función de aislamiento del RDV. La experiencia con el sistema de derivación ha demostrado que funciona como se diseñó y tampoco perturba la carga crítica de aguas abajo cuando se saca el RDV de la línea o se le pone en la línea durante el arranque inicial de después de una operación de derivación.

El equipo de interconexión de la instalación prototipo fue colocado elevado sobre estructuras de postes separados. En la Fig. 5 son visibles cuatro postes detrás del recinto de remolque del RDV que soportan los dos interruptores de desconexión, el interruptor de derivación, y el conjunto transformador de potencia auxiliar trifásica.

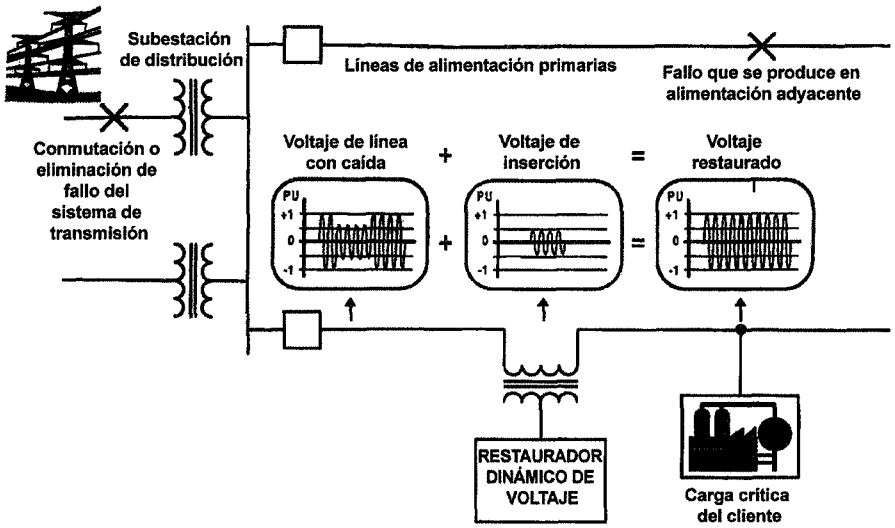


Fig. 3 El RDV conectado en serie suministra la forma de onda del voltaje "desaparecido" durante las caídas.

IV. PRUEBA DE ALTA POTENCIA DEL RDV

Antes de la entrega al lugar de demostración, el RDV fue instalado por primera vez en la instalación de prueba de Waltz Mill (PA) cerca de Pittsburgh para una serie de pruebas de plena potencia. La disposición de prueba permitió al RDV ser conectado a la línea de alimentación de 12,47 kV de la compañía eléctrica a través de un disyuntor de vacío estándar. La carga de prueba incluyó elementos de carga reactivos, resistivos y rectificadores no lineales que podían combinarse para proporcionar un intervalo de cargas de kW con diversos factores de potencia y corriente armónica. Se impusieron caídas de voltaje sobre la forma de onda de V_{line} conmutando diversos elementos de impedancia en serie con la alimentación de entrada. La Fig. 6 muestra una respuesta de caída típica del RDV durante la prueba de alta potencia. La Fig. 6 muestra una caída del 40 por ciento impuesta sobre V_{line} con la respuesta resultante del RDV ($V_{insertion}$) mostrada como la

Fig. 6.B. con la restaurada (V_{load}) mostrada en la Fig. 6.c.

V. EXPERIENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL RDV

Antes de que se tomara la decisión de emplear el RDV para atenuar interrupciones de procesos debidas a caídas de voltaje, se realizó un trabajo considerable por parte de Duke Power para mejorar el rendimiento de calidad de potencia del sistema de la línea de alimentación de distribución primaria que sirve a la planta automatizada de hilado y tejido. Además, los mecanismos sensibles al voltaje y otras cargas de proceso de la planta fueron "endurecidos" para poder sobrevivir a una caída del 33 por ciento del voltaje primario (0,67 por unidad de voltaje retenido).

Una vez que el RDV estuvo instalado en el lugar de demostración y puesto en servicio en agosto de 1996, se observaron varias perturbaciones relativamente benignas en la línea de alimentación que sirve a la carga crítica. Las perturbaciones fueron benignas porque no habrían causado trastornos de procesos, pero permitieron una pronta oportunidad para observar la respuesta del RDV en la instalación real a la carga crítica. La Fig. 7 muestra uno de estos primeros eventos de caída que ocurrieron en dos de las tres fases resultantes en una caída del 13 por ciento, bifásica (0,87 por unidad de voltaje retenido) de duración aproximada de 7 ciclos. El RDV respondió como se esperaba y restauró la V_{load} a 1,0 por unidad.

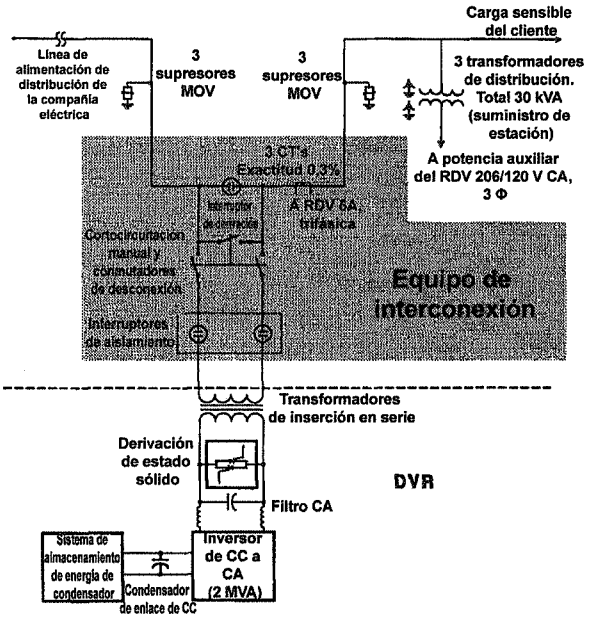


Fig. 4 Diagrama de una línea de interconexión en serie del RDV con la línea de alimentación de distribución de la compañía eléctrica.

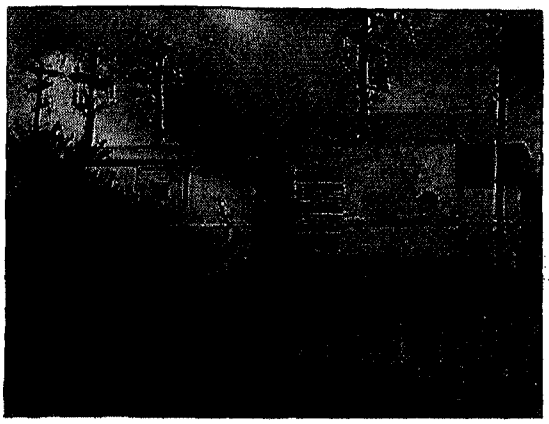


Fig. 5. Instalación prototipo de RDV que muestra el equipo de interconexión montado en postes.

Al principio de la demostración del RDV, se experimentó una profunda caída (0,22 por unidad de voltaje retenido) que requirió el voltaje insertado máximo del 53

por ciento desde el RDV d 2MVA. Las formas de onda mostradas en la Fig. 8 fueron captadas durante el suceso de profunda caída. La forma de onda del voltaje entrante de fase C (V_{line}) se muestra en la Fig. 8.A. y muestra claramente lo que podría haber sido una interrupción de proceso. En cambio, los inversores del RDV se pusieron inmediatamente en plena inserción de voltaje como se muestra en la forma de onda central ($V_{insertion}$). La magnitud del voltaje insertado está limitada por la potencia nominal del inversor y la relación de transformación del transformador de inserción. Cuando $V_{insertion}$ se suma al V_{line} entrante, el voltaje restaurado a la carga (V_{load}) se muestra en la Fig. 8.C. Sonaron las alarmas en la planta como resultado del suceso, pero el proceso no se interrumpió. El examen cuidadoso de la forma de onda de V_{load} indica que el voltaje restaurado estuvo cerca del umbral mínimo de capacidad de operación con fuente de alternativa de la planta. El sobrevoltaje de 1,5 por unidad, aproximadamente 1 ms que ocurrió a los 100 ms fue causado por recuperación de V_{line} mientras $V_{insertion}$ estaba en un máximo. Como este sobrevoltaje entra perfectamente dentro de la capacidad del equipo de carga crítica, no causó problema para la carga crítica.

La atenuación del suceso de caída monofásica mostrado en la Fig. 8 requirió aproximadamente el 2,5 por ciento de la energía almacenada disponible contenida en el sistema de almacenamiento de energía del condensador del RDV. Si este suceso hubiera ocurrido en las tres fases, en consecuencia habría requerido aproximadamente el 7,5 por ciento de la energía almacenada disponible.

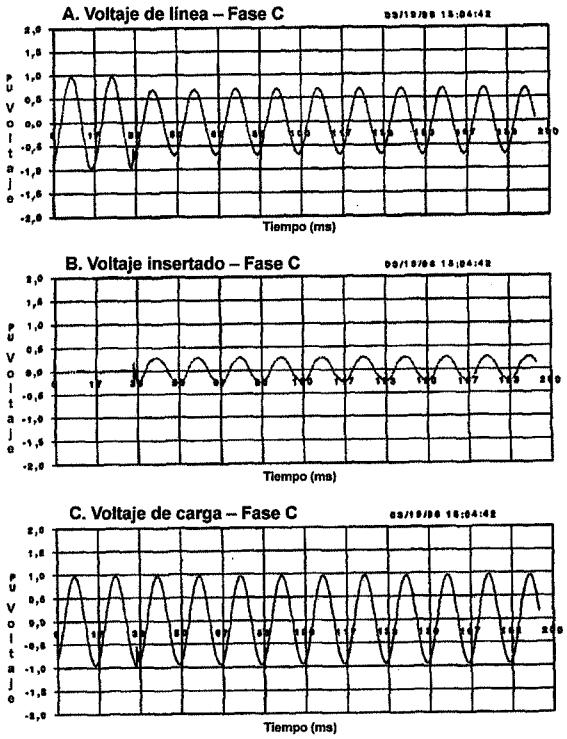


Fig. 6 Respuesta a caída de prueba de alta potencia:

A. V_{line} en terminales de entrada del RDV
B. $V_{insertion}$ de los inversores del RDV
C. V_{load} voltaje restaurado a la carga crítica

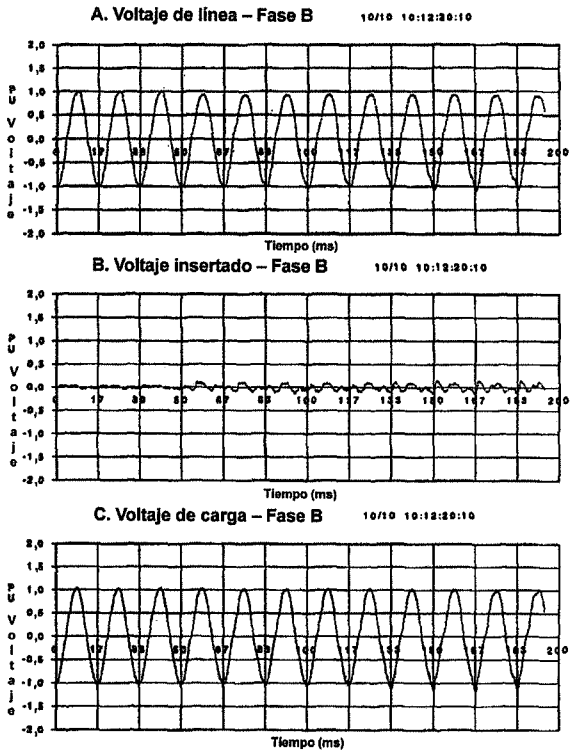


Fig. 7 Respuesta del RDV a la caída real a la carga crítica

VI. FUTURO

El RDV representa una nueva clase de equipo basado en electrónica de potencia para aplicación en sistemas de distribución de compañías eléctricas que proporciona una poderosa solución para el lado de la compañía eléctrica para eliminar los problemas de calidad de potencia que afectan a cargas de proceso críticas sensibles al voltaje. Están en camino instalaciones de campo adicionales que ampliarán más la experiencia base. Cada instalación presenta un entorno de perturbación de calidad de potencia diferente así como topología del sistema y características de carga diferentes que hacen a las estructuras de inversor modular y sistema de almacenamiento de energía altamente deseables por flexibilidad de aplicación.

VII. RECONOCIMIENTOS

El esfuerzo descrito en este documento está financiado por las compañías eléctricas de EE.UU. y miembros afiliados internacionales del Electric Power Research Institute (EPRI), la Duke Power Company de Charlotte, Carolina del Norte, y la Westinghouse Electric Corporation para desarrollar y demostrar nuevas tecnologías para sistemas de distribución avanzados acondicionadores de potencia.

Los autores reconocen las contribuciones de los muchos miembros del equipo de Westinghouse y Duke Power que contribuyeron al éxito de esta instalación primera de una clase y al Dr. Norman Ovick del Westinghouse Science & Technology Center por su asistencia técnica.

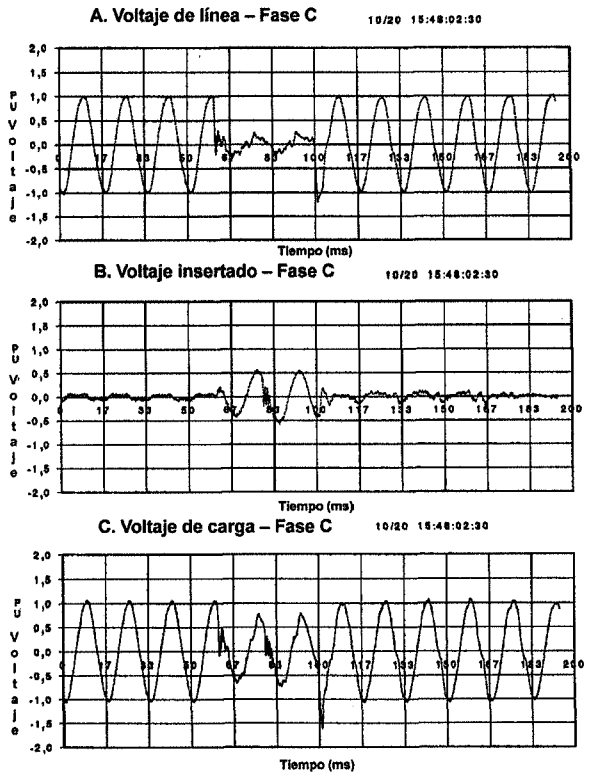


Fig. 8 Formas de onda de suceso de profunda caída real

VIII. BIBLIOGRAFÍA

[1] N. Hingorani, "Introducing CUSTOM POWER", IEEE SPECTRUM, Vol. 32, Nº 6, págs. 41-48, junio de 1995.

[2] EPRI Custom Power Industrial/Commercial Market Study, EPRI RP4000-42, junio de 1992.

[3] N. Abi-Samra, C. Neft, A. Sundaram y W. Malcolm, "The Distribution System Dynamic Voltage Restorer and its Applications at Industrial Facilities with Sensitive Loads", Actas de la 8th International Power Quality Solutions '95 presentadas en la POWERSYSTEMS WORLD '95 Conference & Exhibit, Long Beach, CA, del 9 al 15 de septiembre de 1995.

[4] R. Nelson, J. Legro, G. Gurlaskie, N. Woodley, M. Sarkozi y A. Sundaram, "Voltage Sag Relief: Guidelines to Estimate DVR Equipment Ratings", Actas de la American Power Conference, Vol. 58-II, abril de 1996, págs. 1338-1343.

IX. BIOGRAFÍAS

Neil H. Woodley (M' 1965, SM' 1969) nació en Iowa. Recibió los títulos de BSEE y MSEE en 1961 y 1965 respectivamente de la Iowa State University, Ames, IA. Su experiencia de trabajo incluye Stanley Consultants, Muscatine, IA, Portland General Electric Company, Portland, OR, Solar Energy Research Institute (ahora National Renewable Energy Laboratory), Golden, CO, y Westinghouse Electric Corporation donde ahora está implicado en la comercialización de FACTS y equipos acondicionadores de potencia basados en electrónica de potencia para aplicación en compañías eléctricas. Su trabajo ha sido fundamentalmente en el campo de análisis y planificación de sistemas de T&D de compañías eléctricas.

Larry Morgan (M' 90) es un graduado de 1974 de la Clemson University con un BSEE. De 1974 a 1981 ha servido

en diversos puestos de ingeniería de campo para Duke Power. De 1982 a 1990 desarrolló estándares de compra y construcción en transformadores, protección con fusibles, cogeneración, y software de flujo de carga. Está especializado en equipo industrial servido por T&D con sensibilidad a sucesos en el lado de la compañía eléctrica. Es miembro de PES y IAS, sirviendo actualmente como Secretario del grupo de trabajo WG1346 (Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment) y Presidente del grupo de trabajo 1159.2 (Task Force on Characterization of a Power Quality Event) y Presidente del Capítulo de la Custom Power Task Force on Input and Output Characteristics.

Ashok Sundaram (A' 1991) es un jefe de proyecto en el programa Custom Power Distribution de la Distribution Business Unit en el Electric Power Research Institute en Palo Alto, California. Dirige proyectos de investigación y desarrollo en las áreas de electrónica de potencia y calidad de potencia. Ashok tiene un BSEE de la University of Madras, India, y un MSEE de la Southern Illinois University. También ha completado un trabajo de curso respecto al Ph.D en Ingeniería Eléctrica.

DISCUSIÓN

Toshihisa Funabashi, Miembro Senior, Meidensha Corporation, 36-2, Nihonbashi-hakozakicho, Chuo-ku, Tokio, 103-8515, Japón:

Los autores presentaron su experiencia para instalar el compensador en serie prototipo, que denominan RDV (Restaurador Dinámico de Voltaje), en el sistema de potencia existente. La experiencia de campo será apreciada por ingenieros que tengan planes para aplicar un sistema acondicionador de potencia de tipo en serie en sus

sistemas de potencia. Antes de los resultados de las pruebas de campo del RDV estén disponibles en documentos públicos, podría ser útil para nosotros conocer la manera como se controla el inversor del RDV. A partir del documento se puede apreciar que el objetivo del RDV es proteger una carga crítica de la planta del cliente de perturbaciones de voltaje del sistema de potencia. Si es así, el RDV debe ser controlado de la misma manera que el SSSC (Compensador en serie síncrono estático) [A], es decir, basándose en la señal de voltaje medida, se envía la señal de control de conmutación al inversor de fuente de voltaje para ajustar el voltaje del sistema de potencia al voltaje de referencia predeterminado. Pero en la Fig. 4 de este documento no se presenta PT o CVT. ¿Es el esquema de control basado en medición de corriente por tres CT's presentado en la Figura 4?

Es importante, al aplicar un compensador al sistema de potencia especialmente para un caso de dispositivo de tipo en serie, considerar el esquema de protección de sobrecorriente, sobrevoltaje, y perturbación por armónicos causados por otras cargas especiales como un horno de arco a por una falla que ocurre en el sistema de potencia. En el capítulo 3 de este documento se describe un esquema de control de derivación para proteger la electrónica de potencia de la corriente de carga y la corriente de falla. El MOV podría ser efectivo cuando se inserta en paralelo con la derivación de estado sólido para protección de sobrevoltaje. Debe considerarse el comportamiento de arranque en caliente y en frío del RDV a partir de diversas condiciones del sistema. Además, cuando la falla ocurre en el sistema de transmisión o la línea de alimentación adyacente la perturbación por armónicos se impondrá sobre las caídas u oleadas de voltaje. Estos armónicos podrían ser dañinos para la carga del cliente y

podrían afectar al hardware del RDV y/o a la exactitud del control del inversor. [B] Podría ser necesario considerar el efecto de estos armónicos en aplicaciones prácticas.

Bibliografía

[A] L. Gyugyi, C. D. Schauder y K. K. Sen, "Static Synchronous Series Compensator: A Solid-state Aproach to the Series Compensation of Transmission Lines", 1996 IEEE/PES Winter Meeting, 96 WM 120-6 PWRD, del 21 al 25 de enero de 1996.

[B] Z. Wolanski y B. T. OOi, "Conceptual Study of a Shunt Power Quality Compensator", 1995 IEEE/PES Summer Meeting, 95 SM 392-1 PWRD, del 23 al 27 de julio de 1995.

N.H. Woodley, L. Morgan, A. Sundaram: Deseamos agradecer a los debatientes sus interesantes comentarios y preguntas. Los debatientes sugieren que hay una similitud entre el procedimiento de control empleado en el RDV y el del SSSC: Aunque la comparación es una comparación lógica desde el punto de vista de la electrónica de potencia y los esquemas de control de DSP usados en ambos, los autores desean llamar la atención respecto a la velocidad de respuesta relativa requerida para la atenuación de perturbaciones de voltaje transitorias por el RDV en el sistema de distribución frente a la compensación de fenómenos síncronos y subsíncronos en el sistema de transmisión. El requisito de velocidad de respuesta del RDV es considerablemente más rápido.

Los CT's del lado de la carga mostrados en la Figura 4 del documento se usan para proporcionar la entada de corriente de línea trifásica al dispositivo de monitorización de calidad de potencia que proporciona un registro del comportamiento del RDV. Los CT's del lado de la fuente (no mostrados) proporcionan la entrada de corriente de línea al control del RDV. Un conjunto adicional de CT's (no mostrados) están instalados en el

circuito primario de los transformadores de inserción en serie con el propósito de proporcionar la entrada del vector de corriente de transformador de inserción al sistema de control. Están instalados VT's en la línea de alimentación de distribución tanto en el lado de la fuente como en el lado de la carga del interruptor de derivación con el propósito de controlar el RDV y entradas del monitor de calidad de potencia.

Los debatientes sugieren que la protección MOV podría ser efectiva en paralelo con el conmutador de cortocircuitación de derivación de estado sólido en el secundario del transformador de inserción. Aunque esto es ciertamente posible, los autores advertirán que el MOV necesariamente será estimado para la corriente de falla que se verá hasta que se cierre el interruptor mecánico de derivación en el lado primario del transformador. En efecto, se incorporan supresores de sobrevoltaje momentáneo del MOV conectado en derivación en el conmutador de cortocircuitación de derivación de estado sólido para eliminar efectos excesivos de TTR.

Como la estructura básica de inversor empleada en el RDV es un inversor de PWM, es capaz de generar voltajes de frecuencia fundamental y más alta que la fundamental que pueden permitir la reducción de armónicos de orden inferior (es decir, 3º, 5º y 7º) bajo condiciones de estado estacionario desde la línea de alimentación adyacente y fuentes no lineales de transmisión ascendente que pueden estar eléctricamente cerca del RDV. La cancelación de voltaje armónico de orden superior requiere altas frecuencias de conmutación de PWM que tienen como resultado frecuencias de conmutación más altas y capacidad de VA de carga reducida.

Generalmente, en la opinión de los autores, los voltajes armónicos mayores que el 7º armónico no son

significativos en sistemas de distribución de compañías eléctricas y no se sabe que creen problemas "reales" para los clientes.

Después de la demostración del RDV prototipo descrito en el documento, se han completado instalaciones comerciales en una planta de procesamiento de alimentos, una gran fábrica de papel, y en una subestación de la compañía eléctrica donde el RDV protege a toda una línea de alimentación de distribución con más de 1500 clientes comerciales y residenciales. Se están instalando sistemas adicionales en dos plantas de fabricación de semiconductores en los Estados Unidos y el Sudeste Asiático.

Manuscrito recibido el 31 de marzo de 1998.

Anexo 3: Traducción de la parte relevante del informe de EPRI [EPRI]

Investigación y estudios de casos sobre tecnología de integración de energía eólica

1004806

Informe final, marzo de 2004

Jefes de proyecto EPRI
C. McGowin
W. Steeley

Dispositivos Custom Power de electrónica de potencia

La problemática de la compensación reactiva local se resuelve habitualmente cuando la electrónica de potencia forma parte del generador de turbina eólica. Esto sucede con los generadores eólicos de doble alimentación y de conversión. Ambos sistemas de conversión tienen una capacidad de control de acción rápida de VAR porque emplean una conversión electrónica de potencia para interconectar la turbina de velocidad variable con la red de frecuencia constante. Asimismo, la compensación reactiva es una de las ventajas clave de estos sistemas de conversión de velocidad variable. Sin embargo, en la mayor parte de las aplicaciones existentes para plantas eólicas, los generadores de turbina eólica no son de velocidad variable y puede no darse esta compensación reactiva integrada.

Otra solución para la compensación de potencia reactiva y control de VAR en estas plantas consiste en emplear un equipo auxiliar que combine la electrónica de potencia con condensadores. Esta tecnología engloba dispositivos y configuraciones de circuitos de equipos de electrónica de potencia usados en sistemas de distribución en el intervalo de 1 kV a 38 kV. El Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas (IEEE) ha definido este ámbito de la tecnología como «custom power» y ha publicado recientemente un estándar para definir las diferentes configuraciones y aplicaciones. [15]

Los dispositivos *custom power* incluyen conmutadores estáticos, inversores, conversores, transformadores de inyección, módulos maestros de control y/o módulos de almacenamiento de energía que pueden realizar funciones de interrupción de corriente y de regulación de voltaje en un sistema de distribución para mejorar la calidad de potencia. Tal como se muestra en la tabla 3-2, cada uno de estos dispositivos puede tener más de una función, incluyendo la compensación de fluctuaciones, interrupciones, potencia reactiva y armónica. La regulación de voltaje también es una consecuencia directa de la compensación de potencia reactiva o armónica.

3-12
Tabla 3-2
Tipos y funciones de dispositivos *custom power* según el borrador del estándar 1409 IEEE

Dispositivo de mitigación	Compensación de fluctuaciones	Compensación de interrupciones	Compensación de potencia reactiva (Flicker)	Compensación armónica
Compensadores estáticos en serie (SSC)	X			

[15] IEEE *Draft Trial-Use Guide for Application of Power Electronics for Power Quality Improvemente on Distribution Systems Rated 1 kV through 38 kV*, P1409, D10, 5 de septiembre de 2003.

Regulador de voltaje estático (SVR)	X			
Conmutador estático de transferencia (STS)	X	X		
Dispositivos de sistema de reserva de energía almacenada (BSES)	X	X		X
Cortocircuito de relé estático (SCB)	X	X		
Compensador estático de distribución (DSTATCOM)	X		X	X
Compensador estático de reactiva de la distribución			X	
Condensador de distribución en serie			X	
Compensador en serie/en derivación	X		X	X

Aplicados a la energía eólica, los dispositivos de compensación de fluctuaciones y de potencia reactiva pueden emplearse para la compensación reactiva a nivel de las plantas. A través de varios de estos dispositivos de tecnología *custom power* puede obtenerse una mejora en la regulación de voltaje y una capacidad de respuesta rápida puede fortalecer la estabilidad del sistema. Los dispositivos más apropiados para aplicarse en instalaciones eólicas son los compensadores estáticos de distribución (DSTATCOM) y los compensadores de reactiva de la distribución (DSVC). Otras soluciones posibles se consiguen mediante dispositivos que proporcionan una rápida regulación de voltaje y una compensación de fluctuaciones de voltaje tal como hacen el regulador de voltaje estático (SVR, también denominado restaurador dinámico de tensión o DVR) y los compensadores estáticos en serie (SSC).

Anexo 4: Traducción de las patentes alemanas DE 101 05 892 A1 y DE 102 06 828 A1

DE10105892A1

INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA Y PROCEDIMIENTO PARA PONER EN FUNCIONAMIENTO UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA

DESCRIPCIÓN

La presente invención se refiere al campo de la generación de energía eléctrica, especialmente a instalaciones de energía eólica para generar y alimentar energía eléctrica a una red de suministro eléctrico y a un procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica.

Convencionalmente, en accionamientos de número de revoluciones variable de los tipos más diversos como, por ejemplo, accionamientos industriales, tracción etc., se emplean convertidores de corriente de conmutación automática para la regulación del número de revoluciones y/o de la potencia. En el régimen de generador exclusivo, por ejemplo en una instalación de energía eólica, en la actualidad se están empleando principalmente sistemas con una máquina asíncrona de doble alimentación DASM, tal como está representada en la figura 6. Aquí, un rotor R en el que puede ajustarse, a través de un control de instalación AS, el ángulo de ajuste de las palas de rotor, es accionado por el viento. Su rotación se utiliza, a través de un engranaje G con una relación de transmisión de 1 : n (adoptando n valores entre 50 y 100), para accionar la máquina asíncrona de doble alimentación DASM. El número de revoluciones real n_{gen}(real) del generador DASM se registra y se suministra al control de instalación AS. La máquina asíncrona de doble alimentación DASM, por una parte, está conectada directamente a un transformador de tensión media MST y a una instalación de conmutación de tensión media MSS con una tensión de 6 a 30 kV, pudiendo conmutarse esta conexión. Durante el funcionamiento, la instalación de energía eólica está conectada siempre a la tensión media. La red de tensión media sirve para alimentar la energía

producida. Paralelamente a esta conexión está realizada otra derivación en la que están realizados un convertidor de corriente de generador GSR, un circuito intermedio ZK, así como un convertidor de corriente de red NSR. El convertidor de corriente de generador GSR, así como el convertidor de corriente de red NSR son excitados respectivamente mediante un dispositivo de técnica de mando LGSR ó LNSR, pudiendo usarse como valores teóricos la potencia teórica y el número de revoluciones teórico. El dispositivo de técnica de mando LGSR y LNSR, así como el control de instalación AS son alimentados de energía respectivamente a través del transformador de tensión media MST y la instalación de conmutación de tensión media MSS.

Asimismo, convencionalmente, en las instalaciones de energía eólica, es decir para el régimen de generador, está muy expandido el "concepto danés", según el cual una máquina asíncrona exenta de anillos rozantes ASM sin convertidor de corriente está conectada, mediante un dispositivo de sincronización o de arranque HL, directamente con la tensión de red, tal como está representado en la figura 7. Un rotor R está conectado, a través de un engranaje G con una relación de transmisión de 1 : n (adoptando n valores entre 50 y 100), con una máquina asíncrona ASM de 4 ó 6 polos. Las tres fases iniciales de esta máquina asíncrona ASM pueden conectarse, a través de una primera derivación con un transformador de tensión media MST y una instalación de conmutación de tensión media MSS, a una tensión de b a 30 kV, o bien, alternativamente, a través de una segunda derivación, con el dispositivo de arranque HL, controlando el dispositivo de arranque HL un dispositivo de conmutación S1 para abrir y cerrar la primera derivación. A un control de instalación AS se suministra un número de revoluciones real de generador n_{gen}(real) y, a continuación, éste excita

de manera correspondiente el dispositivo de arranque HL, así como otro dispositivo de conmutación S2, de forma que, también a través de la segunda derivación, puede realizarse una conexión con el transformador de tensión media MST y la instalación de conmutación de tensión media MSS.

Por el documento DE19651364A1, por ejemplo, se conoce un dispositivo para mejorar la compatibilidad de red de instalaciones de energía eólica con generadores asíncronos conectados a una red de suministro eléctrico. En este dispositivo está realizado un convertidor controlado por computadora, con un circuito intermedio de corriente continua y un acumulador intermedio. El acumulador intermedio sirve sustancialmente para recibir fluctuaciones de potencia positivas, temporales, que difieren del valor medio de potencia, y volver a emitirlas de forma diferida. Además, se describe que las crestas de potencia temporales de mayor orden, estando cargado el acumulador intermedio, se desvían mediante un componente pasivo, es decir, se convierten en calor, pudiendo estar configurado el componente como elemento calefactor, es decir, como resistencia óhmica.

Además, por el documento EP0884833A1 se conoce una instalación de energía eólica con un dispositivo de regulación de generador con un convertidor de corriente con conmutadores activos. El dispositivo de regulación de generador puede accionarse para regular la emisión de energía de un generador polifásico de la instalación de energía eólica, a fin de regular el par de giro del rotor a través del ángulo de ajuste de las palas de rotor.

Además, el documento WO00/19094 describe una instalación de energía eólica con un rotor accionado por el viento con palas de rotor ajustables y con un generador conectado directa o indirectamente al rotor, para generar energía eléctrica. Es posible una emisión de potencia del

generador a un número de revoluciones variable del rotor. Además, la instalación de energía eólica presenta una lógica de control, mediante la cual la emisión de potencia y el número de revoluciones del rotor, por debajo de una velocidad límite predefinida, están configurados de tal manera que se regulen de forma constante a una potencia nominal / un número de revoluciones nominal y, por encima de la velocidad límite, de tal forma que disminuya sustancialmente de forma lineal hasta la velocidad de desconexión.

En estas instalaciones de energía eólica convencionales con convertidores de corriente de conmutación automática, sin embargo, existe el problema de que, incluso en caso de cortas interrupciones de la red, se tiene que desconectar el sistema completo y, al volver a conectarse, se tiene que resincronizar, y en caso de un fallo de red, la desconexión de carga se produce de forma abrupta.

Por lo tanto, la presente invención tiene el objetivo de configurar una instalación de energía eólica, en la que en caso de cortas interrupciones de red no sea preciso desconectar el sistema completo ni resincronizarlo al volver a conectarse, y en la que en caso de un fallo de red no se produzca ninguna desconexión de carga abrupta, así como un procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica.

Este objetivo se consigue mediante una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 1, así como mediante un procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 7. En las reivindicaciones subordinadas se indican algunas variantes ventajosas de la invención.

Mediante la configuración según la invención, la instalación de energía eólica puede mantenerse en el

número de revoluciones nominal en caso de cortas interrupciones de la red, mediante el funcionamiento de un convertidor de corriente de generador y un chopper de freno. Además, en un plazo de de pocos mseg. después del retorno de la tensión de red, se puede realimentar energía a la red. En caso de un fallo de red, el par de giro se reduce linealmente a cero en el orden de segundos, es decir, se produce una desconexión suave, siendo transformada la energía que durante este tiempo se produce por generador, en energía térmica por el chopper de freno. En particular, por la supresión de una conexión directa conmutable entre el motor asíncrono y el transformador de tensión media y la instalación de conmutación de tensión media es posible una reacción más rápida a estados de red variables, sobre todo a interrupciones de la red y una restitución de la conexión de red.

En la instalación de energía eólica según la invención, en el caso de cortas interrupciones de la red se evita completamente la desconexión, mientras que, en caso de interrupciones de red más largas, mediante una desconexión suave del par de giro se evitan choques de carga y estímulos de vibración en el ramal de accionamiento completo. De esta manera, aumenta, entre otras, también considerablemente la duración útil del sistema mecánico.

Estos y otros objetivos, ventajas y características de la invención resultan de la siguiente descripción de ejemplos de realización preferibles en relación con el dibujo.

Muestran:

La figura 1 un diagrama de bloques de una instalación de energía eólica según la invención, con una máquina asíncrona,

la figura 2 una línea característica de control del número de revoluciones / potencia y del

número de revoluciones / par de giro, en la instalación de energía eólica según la invención,

la figura 3 un desarrollo de la potencia de alimentación y de la potencia máxima en la instalación de energía eólica según la invención,

la figura 4 el comportamiento de la instalación de energía eólica según la invención en caso de una corta interrupción de la red,

la figura 5 el comportamiento de la instalación de energía eólica según la invención en caso de un fallo de red más largo,

la figura 6 un diagrama de bloques de una instalación de energía eólica con una máquina asíncrona de doble alimentación y

la figura 7 un diagrama de bloques de una instalación de energía eólica convencional según el "concepto danés".

A continuación, se describe en detalle una instalación de energía eólica según la invención, especialmente una instalación de energía eólica según la invención, con una máquina síncrona.

Una instalación de energía eólica según la invención, tal como está representada en el diagrama de bloques de la figura 1, comprende un rotor R (no representado) accionado por el viento, que está acoplado mecánicamente a una máquina asíncrona ASM, a través de un árbol y de un engranaje. La máquina asíncrona ASM está conectada con el convertidor de corriente de generador GSR. Al mismo circuito intermedio ZK está conectado también el convertidor de corriente de red NSR. El convertidor de corriente de red NSR está conectado a una red de alimentación de corriente pública (red de tensión media) a través de un transformador de tensión media MST y

una instalación de conmutación de tensión media MSS. La instalación de energía eólica según la invención está coordinada en su conjunto conforme a los requerimientos determinados, en cuanto a la protección, las retroacciones de la red y la conexión de la red (potencia de cortocircuito de la red que se ha de alimentar).

Al contrario de las instalaciones de energía eólica convencionales, la instalación de energía eólica según la invención, sin embargo, no presenta ninguna derivación a través de la cual, mediante un dispositivo de conmutación, pueda establecerse una conexión directa entre la máquina asíncrona ASM y el transformador de tensión media MST y la instalación de conmutación de tensión media MSS.

La instalación de energía eólica según la invención comprende en su única derivación, a través de la cual el convertidor de corriente de red NSR está conectado al transformador de tensión media MST y a la instalación de tensión media MSS, un convertidor de corriente (de alta potencia) con un convertidor de corriente de red NSR, un convertidor de corriente de motor o de generador GSR, un chopper de freno BC en un circuito intermedio ZK, así como dispositivos de técnica de mando LNSR y LGSR y un dispositivo de control de conexión VSt como interface hacia un control de instalación AS y hacia la instalación (compacta) de tensión media MSS, y permite un funcionamiento con un número de revoluciones variable de una máquina asíncrona ASM exenta de anillos rozantes (jaula de ardilla).

Como generador ASM puede emplearse, por ejemplo, una máquina asíncrona con ventilación independiente. En este caso, el rotor está configurado de manera ventajosa de tal forma que sea posible una ventilación forzada simultánea del estator y del rotor. Mediante este modo de construcción compacto del generador ASM se consigue reducir considerablemente el peso del ramal de

accionamiento, por lo que, al contrario de las instalaciones de energía eólica convencionales, es posible instalar el transformador de tensión media MST en la góndola. Mediante el concepto de un convertidor de corriente de red NSR y un convertidor de corriente de generador GSR, además es posible un funcionamiento con un número de revoluciones variable por todo el intervalo de revoluciones del generador ASM.

El convertidor de corriente (de alta potencia) presenta conmutadores de alta potencia y está realizado, por ejemplo como se muestra en la figura 1, en tecnología IGBT con módulos de potencia integrados (IPM) de bloqueo elevado o conmutadores de alta potencia integrados, por ejemplo, como convertidor modular de potencia (MPC) o convertidor modular de corriente de alta potencia. Un conmutador de alta potencia integrado está concebido, por ejemplo, para una tensión inversa máxima de 4,5 kV. Entonces, la corriente de conmutación máxima asciende a 1,5 kA con una tensión de circuito intermedio de 3,4 kV. La excitación del IGBT se realiza a través de una electrónica de compuerta o una unidad de compuerta que excita conmutadores de alta potencia integrados, conectados en paralelo, que registra cortocircuitos y que desconecta automáticamente cortocircuitos (soft turn-off), que emite o recibe señales de excitación y acuses de recibo a través de guíaondas de luz, que registra y comunica subtensiones y mantiene estados y limita la tensión de colector / emisor (Uce) y que vigila tiempos de protección y los limita a un valor máximo.

El consumo de potencia de la excitación asciende, por ejemplo, a aprox. 6 W. Los conmutadores de alta potencia integrados, conectados en paralelo son excitados por un dispositivo de adaptador de compuerta, que comprende una protección contra sobretensiones de compuerta y un terminador de compuerta.

En el ejemplo de realización preferible según la figura 1, la unidad de potencia de la instalación de energía eólica según la invención se compone sustancialmente de varios módulos de fase dotados con conmutadores de alta potencia integrados y respectivamente un diodo de marcha libre paralelo a éstos. Además, el convertidor de corriente de generador y el convertidor de corriente de red GSR, NSR comprenden condensadores indirectos, sensores de corriente y de tensión, barras de circuito intermedio de baja inductividad y tuberías de refrigerante. Además, está realizado un contactor de separación y de carga previa que se requiere para una conexión suave del convertidor de corriente de conmutación automática a la red alimentadora.

El convertidor de corriente de red NSR y el transformador de tensión media MST son los componentes principales de la conexión de red. El transformador de tensión media MST tiene una tensión de cortocircuito relativamente alta que limita la corriente de cortocircuito en el lado del convertidor de corriente y que reduce las corrientes de armónicos de la red. Además, dispone de un arrollamiento auxiliar y de filtro. Dicho arrollamiento sirve para abastecer la instalación de energía eólica de energía auxiliar (3 · 400 Veff/50 Hz) y para conectar condensadores de filtro para reducir armónicos.

La instalación de conmutación (compacta) de tensión media MSS presenta un disparador a distancia y permite la separación segura y rápida de todo el equipo eléctrico de la instalación de energía eólica de la red de tensión media. La instalación de conmutación (compacta) de tensión media MSS, generalmente, está alojada en el pie de la torre.

La instalación de energía eólica según la invención está representada en la figura 1 como diagrama de bloques.

Esta instalación de energía eólica según la invención está dotada de tres palas de rotor que, a través de un engranaje G de tres etapas, accionan un motor asíncrono o un generador ASM. En el ejemplo de realización preferible, el generador ASM, un convertidor de corriente (de alta potencia) de conmutación automática, así como un transformador de tensión media MST se encuentran en una góndola de la instalación de energía eólica. Una instalación (compacta) de tensión media MSS está alojada en el pie de la torre.

Esta estructura según un ejemplo de la invención está adaptada en cuanto al lugar de instalación (por ejemplo, vibración de las piezas instaladas en la góndola) y las condiciones ambientales y se compone de los siguientes componentes:

- Un generador, por ejemplo, una máquina asíncrona exenta de anillos rozantes (jaula de ardilla), ASM
- un convertidor de corriente (de alta potencia) de conmutación automática, constituido por un convertidor de corriente de generador GSR y un convertidor de corriente red NSR, respectivamente con técnica de mando LGSR, LNSR y con un circuito intermedio ZK
- sistemas de refrigeración para el convertidor de corriente (de alta potencia) de conmutación automática, para el transformador de tensión media MST y para el generador ASM, sin intercambiador de agua-aire-calor
- un transformador de tensión media MST para adaptar la tensión de salida del convertidor de alta potencia al nivel de tensión media deseado
- un abastecimiento de tensión auxiliar 3 · 400 Veff / 50 Hz a partir del transformador de tensión media MST (eventualmente a partir de un transformador pequeño)

- un ventilador, un filtro ciclónico y canales de aire para ventilar el generador ASM y el convertidor de corriente (de alta potencia)
- un cableado del convertidor de corriente de generador y del transformador de tensión media del convertidor de corriente
- una instalación de conmutación (compacta) de tensión media MSS (en el pie de la torre), completamente encapsulada
- un cable de tensión media totalmente aislado para el montaje en el interior de la torre.

La instalación de energía eólica según la invención permite un funcionamiento con un número de revoluciones variable. Mediante este funcionamiento con un número de revoluciones variable se puede conseguir la eliminación total o al menos una reducción importante de choques de carga mecánicos en el ramal de accionamiento, las palas de rotor, el soporte de máquina y la torre. En la instalación de energía eólica según la invención, al contrario del estado de la técnica, puede realizarse un funcionamiento sin interrupciones de la instalación de energía eólica, si se trata de interrupciones cortas de la red del orden de unos 20 a 200 mseg., estando determinado este valor por la energía máxima que puede ser absorbida por el chopper de freno. En caso de interrupciones más largas de la red o de un fallo de la red, se produce una desconexión suave del par de giro para evitar fenómenos de vibración debido a una heterodinación de posibles frecuencias propias del sistema de generador y convertidor de corriente con los componentes de la instalación de energía eólica. Además, en la instalación de energía eólica según la invención, la frecuencia propia de las palas de rotor de aprox. 3 kHz es atenuada activamente.

A continuación, se describe detalladamente el control y la regulación de la instalación de energía

eólica según la invención.

El control y la regulación de la instalación de energía eólica según la invención están basados en una regulación del número de revoluciones de orden superior. Con un ajuste de las palas de rotor (pitch-control), el número de revoluciones puede regularse en función de la velocidad del viento. Esta función es realizada por un control de instalación AS. Una regulación de orden inferior de un convertidor sigue la potencia de salida del convertidor de corriente de generador GSR según una línea característica de control, depositada en la técnica de mando, conforme a un número de revoluciones actual. Una línea característica de control de este tipo está representada en la figura 2 para un régimen permanente y un régimen de corta duración (< 10 seg.). El registro del número de revoluciones se realiza respectivamente de forma independiente para el control de instalación AS (externo) y el convertidor de corriente de generador GSR.

Un número de revoluciones o una potencia que excede el punto nominal Pn se pone sólo durante un corto tiempo (< 10 seg). La duración se define por el tiempo de regulación del ajuste de palas.

En la regulación interna del par de giro se consigue una precisión de $\pm$ 5%. Para la alimentación a la red, sin embargo, se requiere una mayor precisión. Esto se consigue recurriendo al cálculo de la potencia del convertidor de corriente de red para la corrección. Adicionalmente, un offset de corriente continua de todos los transformadores de corriente y de tensión en estado desconectado (bloqueo de reloj para el convertidor de corriente de red NSR y el convertidor de corriente de generador GSR) se ajusta automáticamente a cero.

La especificación de la línea característica de control según la figura 2, al igual que el resto de la parametrización del software del convertidor de corriente

de generador, se realiza de forma externa mediante un PC. La parametrización de la línea característica de control, en principio, puede efectuarse con n tramos de rectas o mediante una fórmula cerrada matemáticamente.

La regulación del convertidor de corriente de generador GSR garantiza la atenuación activa de frecuencias propias del sistema en el intervalo de 2 a 10 Hz (por ejemplo, frecuencias propias de las palas de rotor). Al contrario de la regulación orientada al campo, la regulación orientada al flujo del estator, aplicada aquí, es mucho más dinámica y, por ello, conduce a una atenuación inherente del sistema en el intervalo de frecuencias mencionado. El intervalo de frecuencias mencionado es un dato orientativo. Con esta configuración de regulación altamente dinámica, en otras aplicaciones se han atenuado ya frecuencias de hasta 50 Hz.

El convertidor de corriente de red NSR transforma la tensión continua del circuito intermedio ZK (por ejemplo, 2800 V) en una tensión alterna trifásica. La magnitud principal de regulación para el convertidor de corriente de red NSR es la tensión del circuito intermedio o su mantenimiento en un valor constante. En cuanto una potencia alimentada a la red, es decir una potencia del convertidor de corriente de red NSR, sobrepasa un valor de $P_{máx1}$, tal como se muestra en la figura 3, se activa el chopper de freno o el limitador de sobretensión instantánea BC, y una potencia diferencial $P - P_{máx1}$ en una resistencia se convierte en calor. $P_{máx2}$ es el límite superior de la potencia máxima que en el limitador de sobretensión instantánea BC puede convertirse en calor. Para la instalación de energía eólica en su conjunto, del comportamiento descrito anteriormente resulta un excelente comportamiento de centelleo de corta duración. El valor $P_{máx1}$ predefinido que establece la potencia máxima de alimentación puede cambiarse también hacia una mayor

potencia según la aplicación.

Sin embargo, en caso de una interrupción de la red, independientemente de su duración, incluso con la regulación descrita anteriormente sigue existiendo el problema que entonces se alimentaría una potencia a la red, porque se queda por debajo del valor $P_{máx1}$, y hasta ahora, este problema se eliminaba sólo mediante una desconexión dura de la instalación de energía eólica al registrar una interrupción de la red. Se toleraban las desventajas que ello conlleva y que ya se han tratado anteriormente.

Por lo tanto, para eliminar estas desventajas de las instalaciones de energía eólica convencionales, en la instalación de energía eólica según la invención, en el caso de interrupciones de la red por el control de instalación AS se distingue entre dos casos diferentes:

1) Interrupción breve de la red durante un período de tiempo $t_1 \leq t_{máx}$ con $t_{máx}$ = 200 ms

2) Interrupción de red de duración más larga o fallo de red, $t_1 > t_{máx}$.

En caso de interrupciones breves de la red, la instalación de energía eólica según la invención puede operar sin interrupción. En este caso, la instalación de energía eólica se regula de tal forma que la energía que se produce por el generador se convierte en calor por el chopper de freno o el limitador de sobretensión instantánea BC, para lo cual la potencia de alimentación máxima $P_{máx1}$ se pone igual a cero. En este caso, el limitador de sobretensión instantánea BC está configurado de tal forma que permite un funcionamiento con la potencia nominal, es decir, una recepción de la potencia nominal P_n por la resistencia, hasta interrupciones de red de una duración de 200 mseg..

El comportamiento de la instalación de energía eólica según la invención en caso de una interrupción

breve de la red de este tipo se describe a continuación con mayor detalle haciendo referencia a la figura 4. En la figura 4, U designa la tensión de red, P_{NSR} la potencia del convertidor de corriente de red NSR, $P_{chopper}$ la potencia del chopper de freno o del limitador de sobretensión instantánea BC y P_d la potencia en el circuito intermedio.

En caso de una interrupción breve de la red con una duración $t \leq t_{máx}$, el control de instalación AS sigue aspirando a mantener constante el número de revoluciones del rotor R. De esta forma, sigue constante la potencia Pd en el circuito intermedio ZK, ya que, a pesar del fallo de red, la instalación de energía eólica sigue generando energía. Para que la tensión en el circuito intermedio ZK no suba de forma inadmisible, en la resistencia del limitador de sobretensión instantánea BC, esta energía se convierte en calor. Evidentemente, una "conversión de energía" de este tipo no es posible cualquier número de veces dentro de un período corto. El número máximo admisible de interrupciones breves de red es, por ejemplo, 3 veces por cada 5 min., dependiendo sin embargo del dimensionamiento de la resistencia y de su calentamiento por la "transformación de energía". El exceso de este valor definido a modo de ejemplo puede provocar la desconexión de la instalación de energía eólica como consecuencia de un sobrecalentamiento de la resistencia del limitador de sobretensión instantánea. En este caso, el control de instalación AS puede volver a poner en marcha automáticamente la instalación de energía eólica después del enfriamiento de la resistencia.

En la figura 4 se puede ver que durante el fallo de la tensión de red U durante un período de tiempo t_1, mientras se mantiene constante la potencia P_d en el circuito intermedio ZK, la potencia P_{NSR} del convertidor de corriente de red NSR se pone a cero, mientras la potencia $P_{chopper}$ del limitador de sobretensión instantánea aumenta al

valor de P_{NSR} antes del comienzo de t_1. Una vez finalizado el fallo, la potencia P_{NSR} vuelve a aumentar paulatinamente, mientras $P_{chopper}$ se reduce en la misma medida, hasta que se haya restablecido el estado previo al comienzo de t_1.

Además, el convertidor de corriente (de alta potencia) de la instalación de energía eólica según la invención está dimensionado de tal forma que, a pesar del fallo de la refrigeración (los sistemas auxiliares tales como los ventiladores, las bombas de refrigerante etc. están conectados al arrollamiento auxiliar del transformador de tensión media MST), pueda trabajar con la potencia nominal P_n durante el período de tiempo de al menos $t_{máx}$ (convertidor de corriente de generador GSR y limitador de sobretensión instantánea BC).

De esta manera, en la instalación de energía eólica según la invención puede evitarse una desconexión debido a una interrupción breve de la red. Ahora, hay que considerar el caso en que una interrupción de red tarde más tiempo de modo que ya no es posible la transformación de energía por el limitador de sobretensión instantánea PC a causa del calentamiento. Este caso se va a tratar en detalle a continuación.

Habitualmente, un fallo de red, es decir, una interrupción más larga de la red, durante el régimen de generador de una máquina asíncrona, por ejemplo, en una instalación de energía eólica, provoca una desconexión abrupta de la carga. A causa del rápido cambio del par de giro, esta desconexión de carga puede provocar vibraciones en la parte mecánica de la instalación de energía eólica, lo que supone una considerable solicitación para el sistema mecánico. Por esta razón, en la instalación de energía eólica según la invención, en caso de un fallo de red, el control de instalación AS realiza una reducción lineal del par de giro a cero en un orden de segundos, es

decir una desconexión suave. La energía que reproduce por generador durante este tiempo se convierte en calor por el limitador de sobretensión instantánea BC, y se evitan o al menos se reducen sensiblemente las vibraciones en la parte mecánica.

Si un fallo de red dura más de, por ejemplo, 200 mseg. como en el ejemplo de realización descrito, a través de una señal de acuse de recibe "señalización fallo de red" hace que el control de instalación AS ponga el rotor R en un régimen lento. El convertidor de corriente (de alta potencia) mismo pone el par de giro a cero de forma lenta y controlada con una función de rampa, tal como se muestra en la figura 6 para el caso de un fallo de red de mayor duración. El tiempo t_2 hasta que el par de giro y, por tanto, la potencia P_d en el circuito intermedio ZK, así como la potencia $P_{chopper}$ en el limitador de sobretensión instantánea BC han bajado a cero, puede ajustarse, por ejemplo, a como máximo 3 segundos. La energía generada, a su vez, se convierte en calor en la resistencia del limitador de sobretensión instantánea BC. Esta reducción suave según la invención del par de giro en el árbol de generador ayuda a frenar más rápidamente el rotor y evita un estímulo de resonancias que se pueden producir en caso de una caída de carga del 100%.

Resumiendo, la presente invención describe, por lo tanto, una instalación de energía eólica en la que se garantiza que durante un régimen normal se emita una potencia hasta un valor umbral predefinido, que durante un fallo de la red en caso de una breve interrupción de la red, la instalación de energía eólica se mantenga en funcionamiento, pero sin emitir energía a la red, y que en caso de una interrupción más larga de la red, la instalación de energía eólica se desconecte de manera suave. Para este fin, en la instalación de energía eólica está realizada sólo una derivación que conecta el motor

asíncrono o el generador con la red, de modo que es posible una reacción fiable y rápida a cambios de estado de la red. Dicha derivación presenta un convertidor de corriente de generador, un circuito intermedio, así como un convertidor de corriente de red. Para transformar un exceso de energía que no puede alimentarse a la red, con el fin de evitar la desconexión en caso de interrupciones breves de la red o permitir una desconexión suave en caso de una interrupción más larga de la red, en el circuito intermedio está realizado un limitador de sobretensión instantánea, en el que dicha energía se transforma en energía térmica. Además, se describe un procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica.

REIVINDICACIONES

1. Instalación de energía eólica con:

Un rotor con palas de rotor ajustables, una máquina asíncrona (ASM) accionada por el rotor a través de un árbol,

un convertidor de corriente de conmutación automática, que presenta un convertidor de corriente de generador (GSR), un circuito intermedio (ZK) con un dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC), así como un convertidor de corriente de red (NSR) conectado entre la máquina asíncrona (ASM) y un transformador de tensión media (MST) y una instalación de tensión media (MSS) conectada después de éste,

un dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt) para registrar un fallo de red y para determinar si un fallo de red dura más que un primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido y para emitir una señal que indica esta información a un dispositivo de control de instalación (AS),

estando el dispositivo de control de instalación (AS) configurado para excitar una generación de energía por la máquina asíncrona (ASM), para excitar el convertidor de corriente de conmutación automática y para excitar el dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) y,

si la señal del dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt) indica un fallo de red que dura menos que el primer período de tiempo ($t_{máx}$), predefinido mantiene constante la potencia en el circuito intermedio (ZK) y excita el dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) de tal forma que la potencia en el circuito intermedio (ZK) se conduzca, en lugar de al convertidor de corriente (NSR), al dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) donde la

energía eléctrica se transforma en energía térmica, o

si la señal del dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt) indica un fallo de red que dura más que el primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido, excita un dispositivo de ajuste para las palas de rotor de tal forma que el rotor se ponga en un régimen lento mediante un ajuste de las palas de rotor, y excita el convertidor de corriente de conmutación automática de tal forma que un par de giro del motor asíncrono (ASM) se controle con una función de rampa y se reduzca lentamente a cero.

2. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, en la que el dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) presenta una resistencia en la que la energía eléctrica se convierte en energía térmica.

3. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1 ó 2, en la que, cuando el dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt) registra un exceso de la potencia máxima ($P_{máx1}$) por la potencia de salida (P) actual en la salida del convertidor de corriente de red (NSR), se emite una señal correspondiente al dispositivo de control de instalación (AS) y, respondiendo a esta señal, el dispositivo de control de instalación (AS) suministra la potencia diferencial ($P - P_{máx1}$) al dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) para convertir la energía eléctrica en energía térmica.

4. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes 1 a 3, en la que en el convertidor de corriente de conmutación automática se usan conmutadores de alta potencia con un diodo de marcha libre

dispuesto paralelamente.

5. Instalación de energía eólica según la reivindicación 4, en la que los conmutadores de alta potencia son módulos de potencia integrados (IPM) realizados en tecnología IGBT.

6. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes 1 a 5, en la que el dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) está dimensionado de tal forma que dentro de un plazo de tiempo predefinido sea posible un número de veces predeterminado una conversión de energía eléctrica en energía térmica.

7. Procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica con un rotor con palas de rotor ajustables, con una máquina asíncrona (ASM) accionada por el rotor a través de un árbol, con un convertidor de corriente de conmutación automática, que presenta un convertidor de corriente de generador (GSR), un circuito intermedio (ZK) con un dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC), así como un convertidor de corriente de red (NSR) conectado entre la máquina asíncrona (ASM) y un transformador de tensión media (MST) y una instalación de tensión media (MSS) conectada después de éste, y con un dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt) para registrar un fallo de red y para determinar si un fallo de red dura más que un primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido y para emitir una señal que indica esta información a un dispositivo de control de instalación (AS),

estando el dispositivo de control de instalación (AS) configurado para excitar una generación de energía por la máquina asíncrona (ASM), para excitar el

convertidor de corriente de conmutación automática y para excitar el dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC), con los pasos de

poner en funcionamiento, antes de una conexión o después de una desconexión de la instalación de energía eólica, una técnica de mando en un régimen sin red a través de una batería de reserva, y después de la conexión de la tensión media, la alimentación de tensión de red a todos los sistemas auxiliares necesarios,

la carga de un circuito intermedio del convertidor de corriente de conmutación automática a través de un dispositivo de carga previa hasta un valor cresta de la tensión de red actual, y la conexión de un contactor principal del convertidor de corriente, no estando sincronizados un convertidor de corriente de red y un convertidor de corriente de generador, el registro de una velocidad del viento por el control de instalación (AS) y, al exceder un valor límite inferior de la velocidad del viento, la emisión de un comando de inicio a un dispositivo de control de conexión y la sincronización del convertidor de corriente de generador y del convertidor de corriente de red (GSR, NSR) de tal forma que una tensión de circuito intermedio (ZK) se ajuste a un valor nominal y la instalación se encuentre en el régimen normal,

durante el régimen normal de la instalación de energía eólica, el registro si existe un fallo de red, por el dispositivo de control y de regulación (LGSR, LNSR, VSt), y

si el fallo de red dura menos que el primer período de tiempo ($t_{máx}$), predefinido, el mantenimiento de la potencia en el circuito intermedio (ZK) en un valor constante y la excitación del dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) de tal forma que la potencia en el circuito intermedio (ZK) se conduzca, en lugar de al convertidor de corriente (NSR), al dispositivo de

limitación de sobretensión instantánea (BC) donde la energía eléctrica se transforma en energía térmica, o

si el fallo de red dura más que el primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido, la excitación de un dispositivo de ajuste para las palas de rotor de tal forma que el rotor se ponga en un régimen lento mediante un ajuste de las palas de rotor, y la excitación del convertidor de corriente de conmutación automática de tal forma que el par de giro del motor asíncrono (ASM) se controle con una función de rampa y se reduzca lentamente a cero.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por el paso adicional del registro de una potencia de salida (P) actual en la salida del convertidor de corriente de red (NSR) y, en caso de un exceso de una potencia máxima ($P_{máx1}$) por la potencia de salida (P) actual en la salida del convertidor de corriente de red (NSR), la emisión de una señal correspondiente al dispositivo de control de instalación (AS) y, respondiendo el dispositivo de control de instalación (AS) a esta señal, el suministro de la potencia diferencial ($P - P_{máx1}$) al dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) para transformar la energía eléctrica en energía térmica.

9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, en el que, en caso de que una interrupción de la red que dure menos que un primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido) se produce, dentro de un segundo período de tiempo predeterminado, con una frecuencia superior a un número predefinido de veces, se produce la desconexión igual que en caso de una interrupción de red superior al primer período de tiempo ($t_{máx}$) predefinido, hasta que la resistencia del dispositivo de limitación de sobretensión instantánea (BC) se haya enfriado por debajo de una temperatura predeterminada.

RESUMEN

La presente invención se refiere a una instalación de energía eólica en la que se garantiza que durante un régimen normal se emita una potencia hasta un valor umbral predefinido, que durante un fallo de la red en caso de una breve interrupción de la red, la instalación de energía eólica se mantenga en funcionamiento, pero sin emitir energía a la red, y que en caso de una interrupción más larga de la red, la instalación de energía eólica se desconecte de manera suave. Para este fin, en la instalación de energía eólica está realizada sólo una derivación que conecta el motor asíncrono o el generador con la red, de modo que es posible una reacción fiable y rápida a cambios de estado de la red. Dicha derivación presenta un convertidor de corriente de generador (GSR), un circuito intermedio (ZK), así como un convertidor de corriente de red (NSR). Para transformar un exceso de energía que no puede alimentarse a la red, con el fin de evitar la desconexión en caso de interrupciones breves de la red o permitir una desconexión suave en caso de una interrupción más larga de la red, en el circuito intermedio está realizado un limitador de sobretensión instantánea (BC), en el que dicha energía se transforma en energía térmica. Además, se describe un procedimiento para poner en funcionamiento una instalación de energía eólica.

Siguen 7 hojas de dibujos numeradas correlativamente.

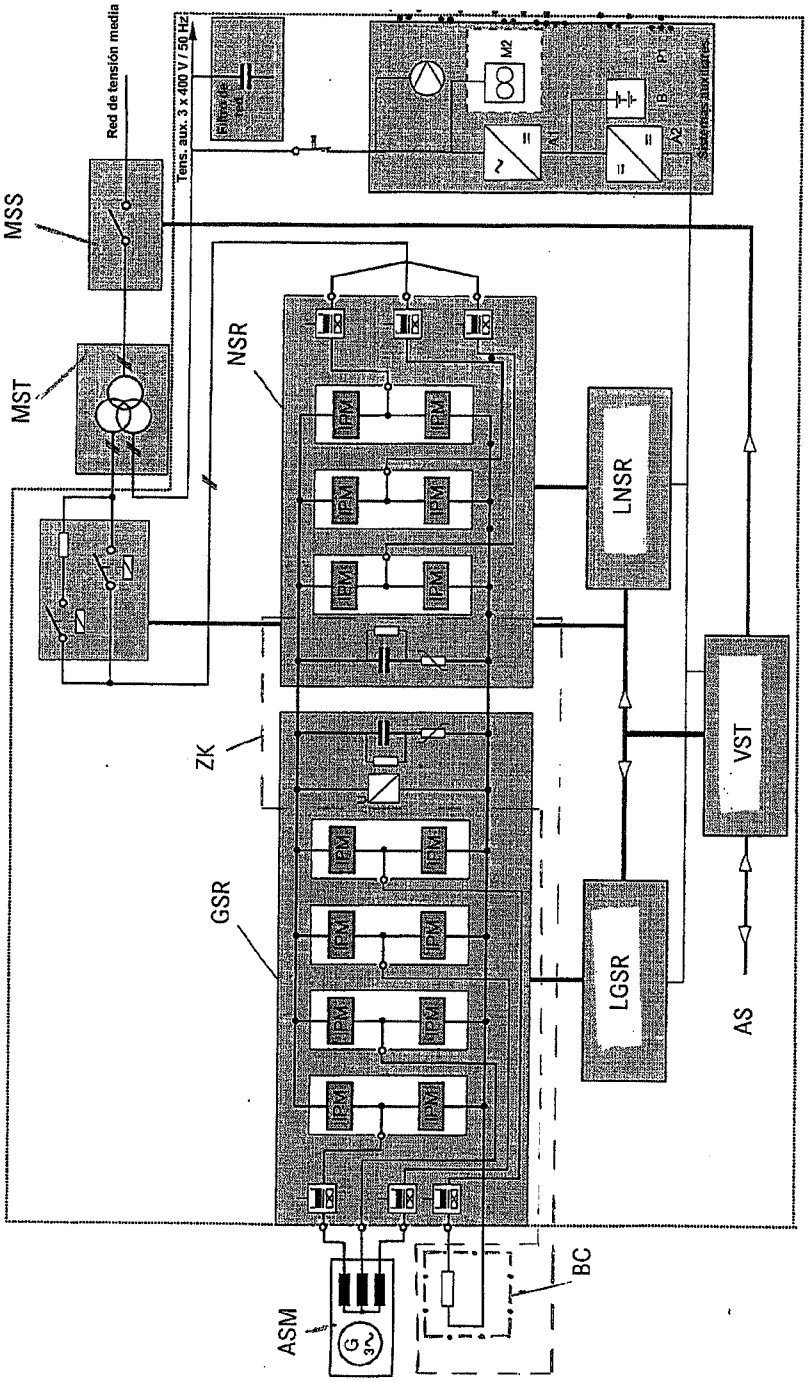

Red de tensión media
Tens. aux. 3 x 400 V / 50 Hz
Filtros de red
M2
AT
A2
Sistemas auxiliares
MSS
MST
NSR
LNSR
VST
ZK
GSR
LGSR
AS
ASM
BC

Fig. 1

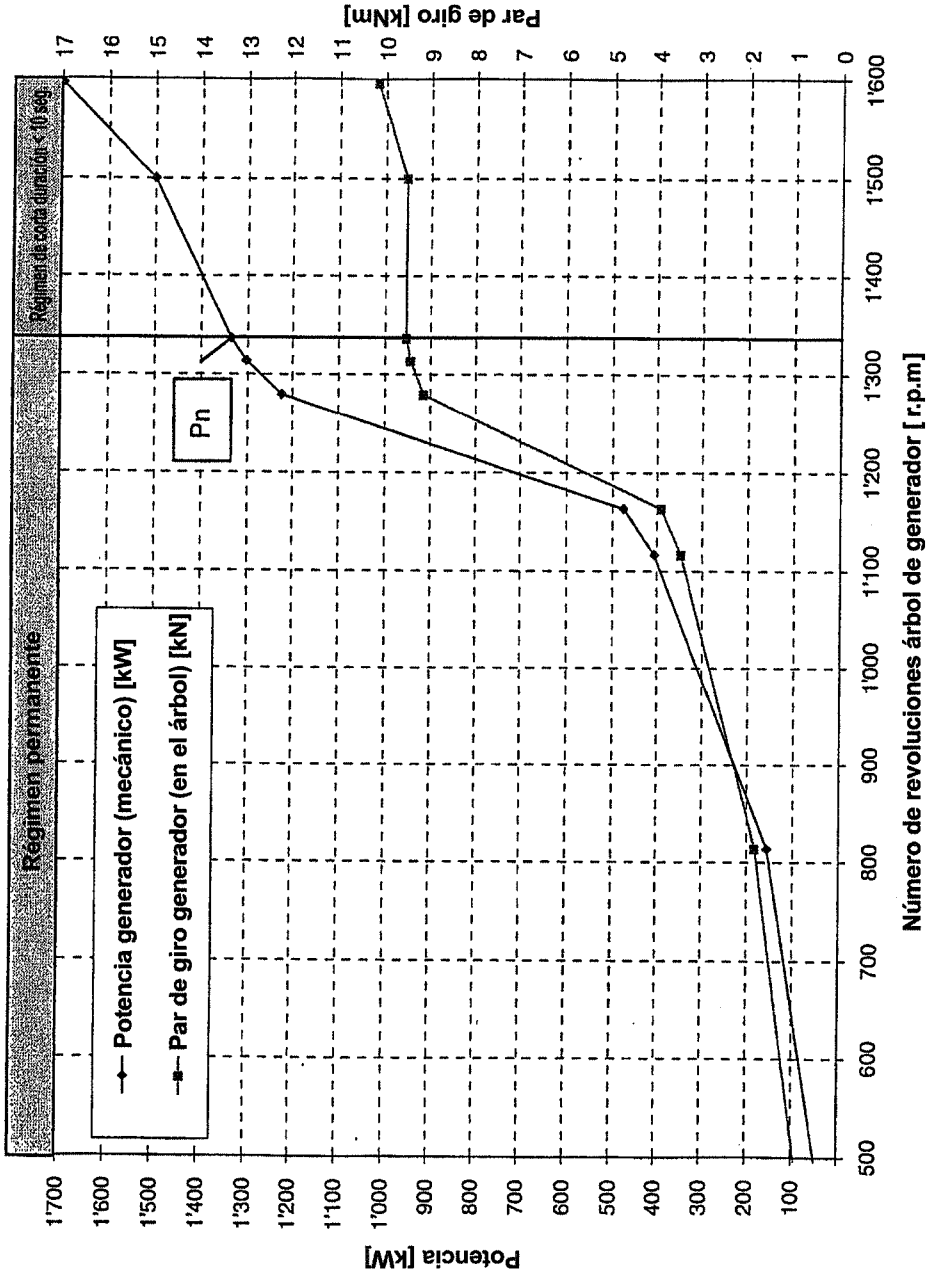

Régimen permanente
Régimen de corta duración < 10 seg
Potencia generador (mecánico) [kW]
Par de giro generador (en el árbol) [kN]
Pn
Potencia [kW]
Par de giro [kNm]
Número de revoluciones árbol de generador [r.p.m]
1'700
1'600
1'500
1'400
1'300
1'200
1'100
1'000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
500
600
700
800
900
1'000
1'100
1'200
1'300
1'400
1'500
1'600

Fig. 2

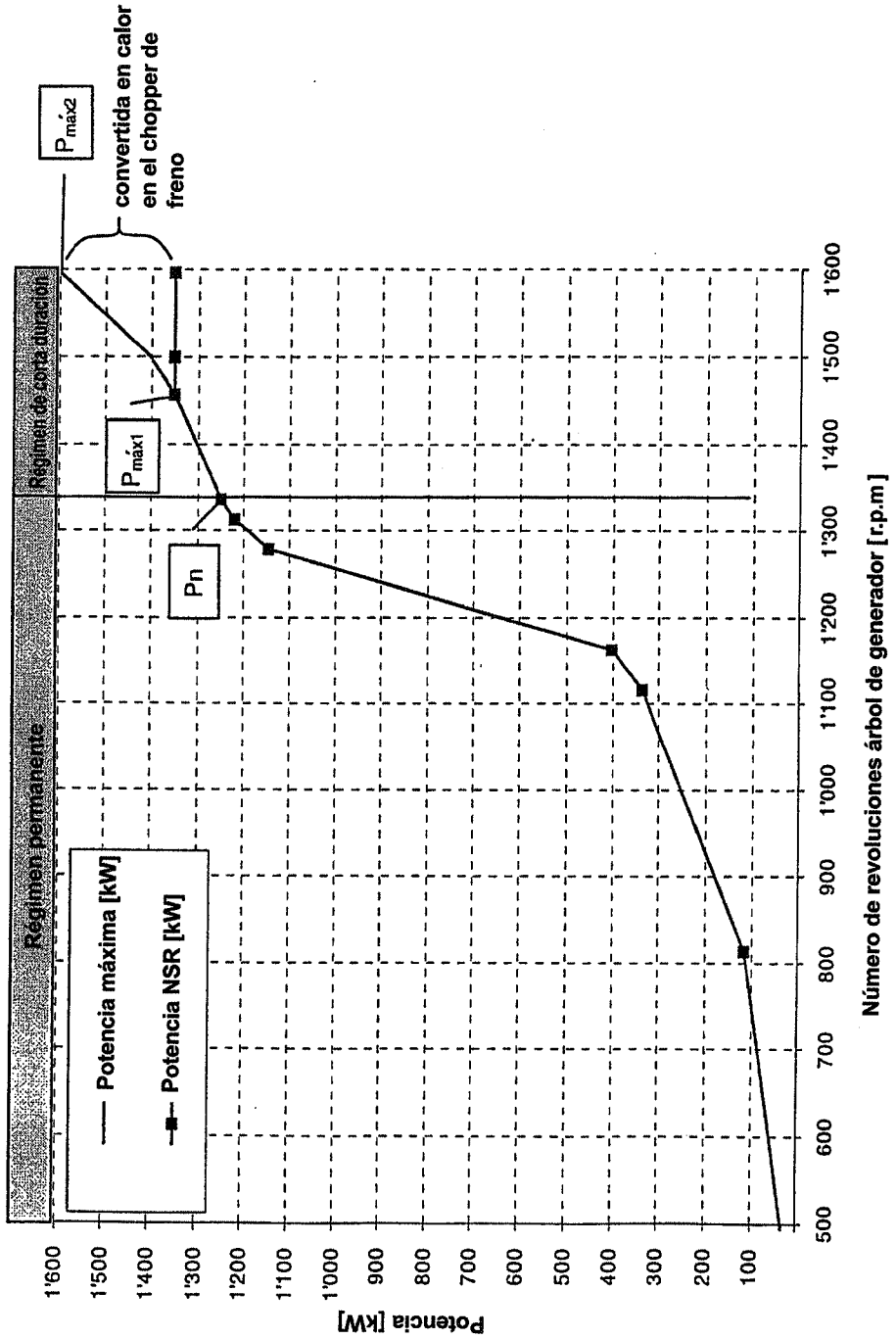

Régimen permanente
Régimen de corta duración
Pmáx2
convertida en calor en el chopper de freno
Pmáx1
Pn
Potencia máxima [kW]
Potencia NSR [kW]
Potencia [kW]
Número de revoluciones árbol de generador [r.p.m.]
1'600
1'500
1'400
1'300
1'200
1'100
1'000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
500
600
700
800
900
1'000
1'100
1'200
1'300
1'400
1'500
1'600

Fig. 3

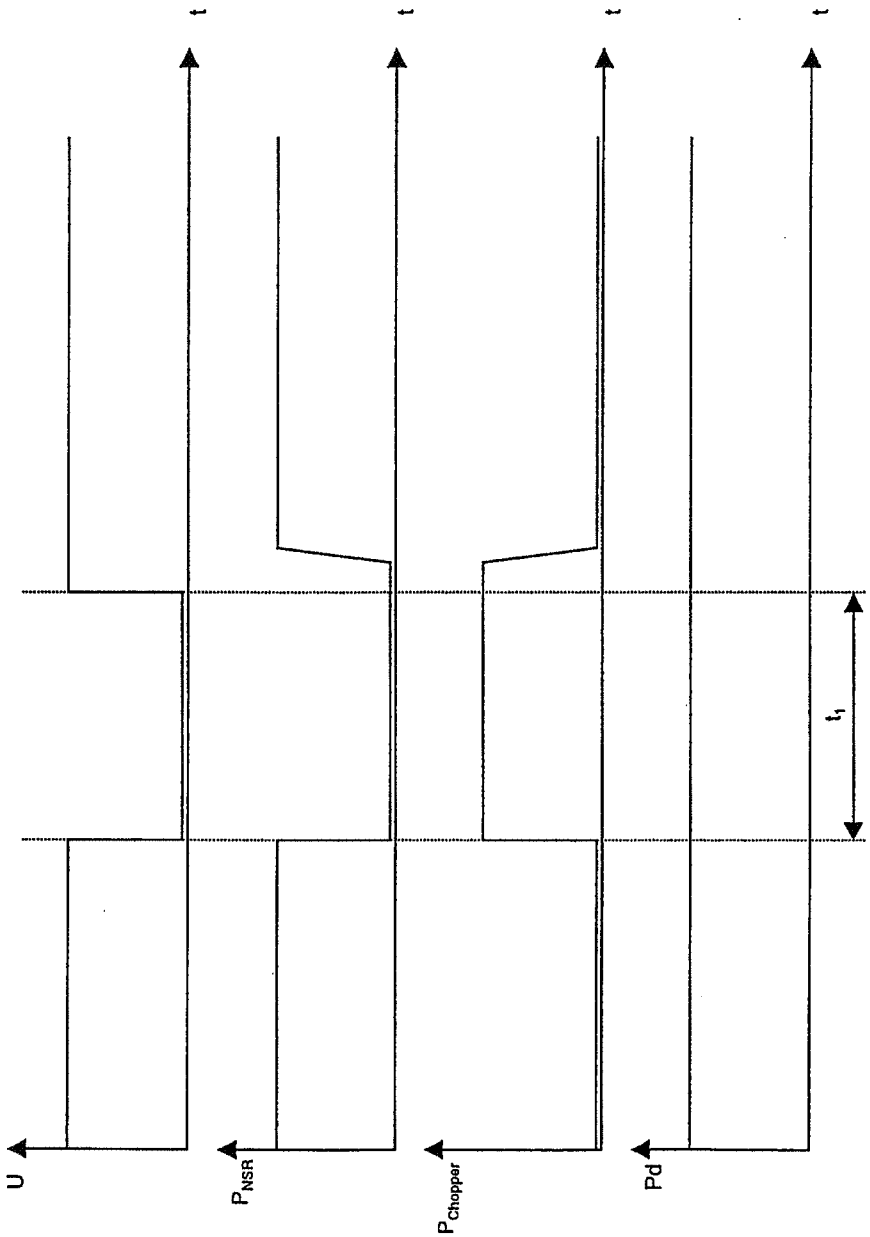


Fig. 4

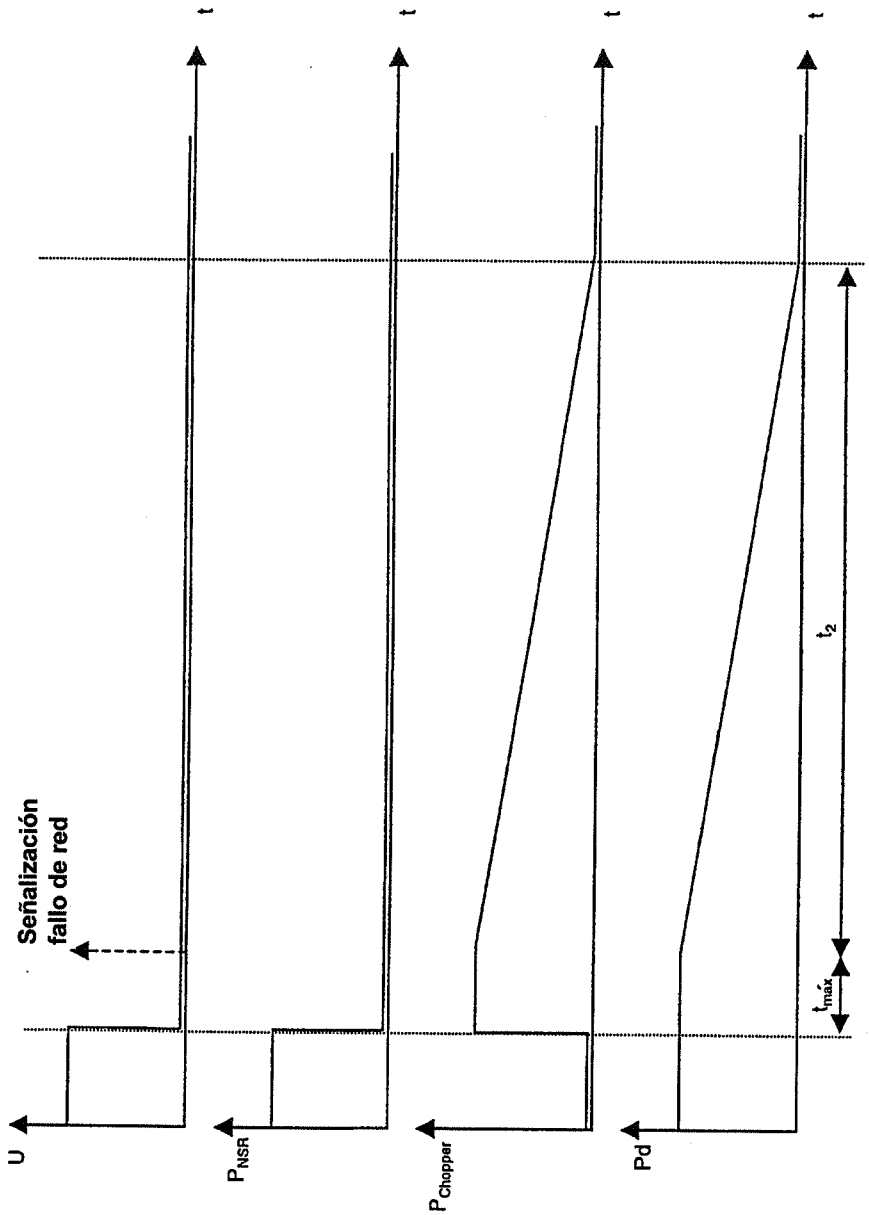


Fig. 5

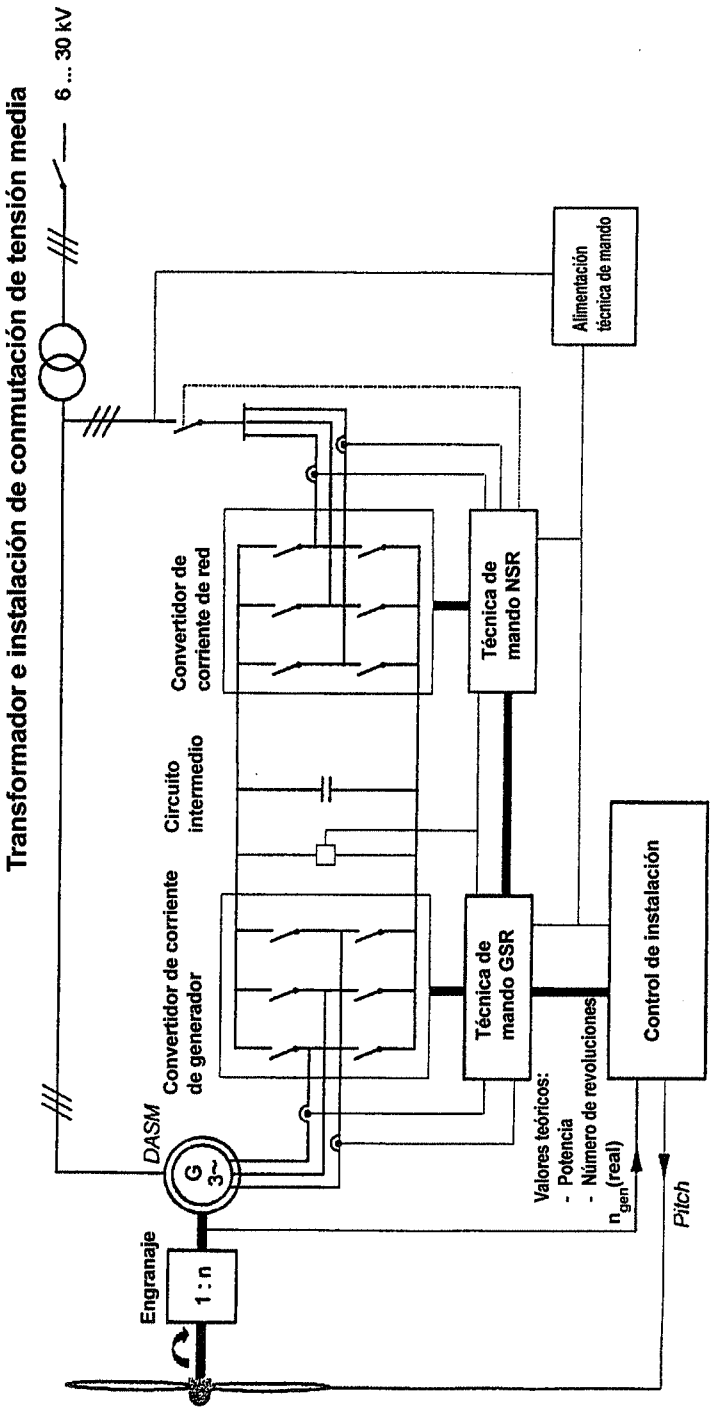


Fig. 6

Estado de la técnica

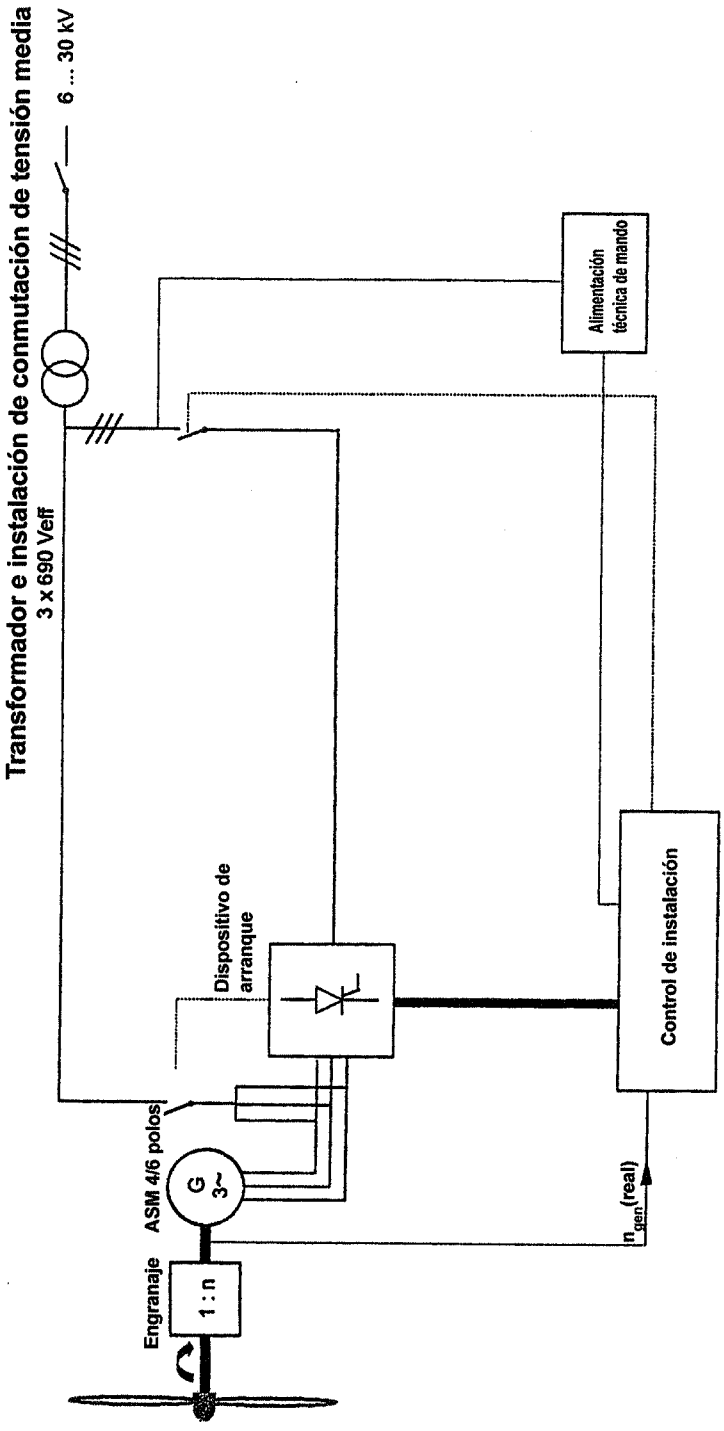


Fig. 7

Estado de la técnica

DE10206828

DISPOSICIÓN DE CONMUTACIÓN PARA EL USO EN UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA

DESCRIPCIÓN

La invención se refiere a una disposición de conmutación destinada especialmente al uso en una instalación de energía eólica con un número de revoluciones variable, comprendiendo un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional y un convertidor.

Este tipo de disposiciones de conmutación previstas para el uso en instalaciones de energía eólica con número de revoluciones variable se emplean frecuentemente en la práctica y, por lo tanto, forman parte del estado de la técnica por su uso anterior conocido. Sin embargo, durante el funcionamiento, al emplear máquinas asíncronas de doble alimentación (DASM) resulta desventajoso que, en caso de un cortocircuito en la red en el nivel de tensión media, éstas se desconectan de la red. Por consiguiente, la estabilización deseada de la red no puede realizarse mediante una instalación de energía eólica que funcione con una máquina asincrónica de doble alimentación.

Por esta razón, en el pasado, los explotadores de red realizaban la estabilización necesaria de la red con centrales eléctricas convencionales. Sin embargo, debido al rápido crecimiento del número de instalaciones de energía eólica y el rápido incremento resultante de la potencia que mientras tanto han alcanzado la magnitud de las centrales eléctricas convencionales, también es preciso adaptar los requisitos de las instalaciones de energía eólica a los de las centrales eléctricas convencionales. En particular, se requiere crecientemente un acoplamiento duradero de la red, para que durante y después de un cortocircuito de red de tensión media la instalación de energía eólica pueda volver a establecer y

estabilizar la red.

La invención está basada en el objetivo de proporcionar una disposición de conmutación para el uso en instalaciones de energía eólica con una máquina asíncrona, mediante la cual puedan cumplirse los requisitos más altos relativos a las instalaciones de energía eólica modernas, particularmente en lo que se refiere a la estabilización de la red.

Según la invención, este objetivo se consigue con una disposición de conmutación según las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones subordinadas se refieren especialmente a variantes convenientes de la invención.

Por lo tanto, según la invención está prevista una disposición de conmutación, en la que la resistencia adicional puede regularse mediante un conmutador rápido, de tal forma que, en caso de un cortocircuito en la red, el convertidor pueda desconectarse temporalmente al menos en parte, para recibir temporalmente la corriente de rotor mediante la resistencia adicional, pudiendo volver a conectarse, una vez extinguida la corriente de cortocircuito de rotor, para el acoplamiento activo de una corriente de cortocircuito a la red.

De esta manera, es posible cumplir de manera óptima los requisitos más altos de la red durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica dotada de un generador asíncrono para la estabilización de la red, porque en caso de un cortocircuito de red en el nivel de tensión media no se produce ninguna desconexión de la red. Para ello, en el circuito del rotor se ha insertado, por ejemplo, una resistencia adicional realizada como resistencia de carga regulable o un crowbar que para ello está dotada de una resistencia adicional y que, al producirse el cortocircuito en la red, recibe la energía de cortocircuito del rotor y, a continuación, se

desconecta, tras extinguirse la corriente de cortocircuito. La resistencia de carga se regula con un conmutador que especialmente puede desconectarse de forma activa y que especialmente no es ningún tiristor conmutado de forma natural. El ondulador de rotor existente del convertidor de cuatro cuadrantes se activa temporalmente inmediatamente después de producirse el cortocircuito en la red y, una vez finalizado el procedimiento de compensación del cortocircuito, situándose el valor umbral de manera ventajosa por debajo de una corriente nominal del ondulador de rotor, se vuelve a activar alimentando la potencia necesaria a la red durante el cortocircuito de red y al volver la tensión de red.

Resulta especialmente ventajosa una variante de la presente invención, en la cual la disposición de conmutación presenta varias resistencias conmutables con dependencia o independencia entre sí. De esta manera, se consigue que la alta corriente de cortocircuito de rotor que frecuentemente excede de 1000 A pueda distribuirse entre varios conmutadores, ya que estos conmutadores desconectables tienen que conectarse en paralelo de una manera muy complicada para la corriente general.

Asimismo, resulta especialmente ventajosa una disposición de conmutación con un regulador de dos posiciones para regular la resistencia adicional, porque de este modo es posible establecer una regulación muy sencilla, rápida y robusta.

Resulta especialmente conveniente otra variante, si la regulación del conmutador activo se realiza con una modulación de duración de impulsos con una frecuencia de reloj fija, porque de esta manera puede realizarse una regulación digital con una frecuencia de reloj fija.

Asimismo, resulta especialmente ventajoso que la regulación del conmutador activo se realice con un regulador proporcional, un regulador proporcional-integral

o un regulador proporcional, integrante y diferenciante. De este modo, se consigue que al producirse el cortocircuito en la red se puedan regular de forma óptima la corriente de cortocircuito del rotor o la tensión de bornes del rotor.

También resulta especialmente ventajosa una forma de realización de la disposición de conmutación según la invención, en la que, en caso de un cortocircuito en la red, se suministra al cortocircuito una corriente capacitiva o una corriente inductiva, ya que de esta manera es posible estabilizar la red de forma óptima según los requisitos de los explotadores de la red. Habitualmente, es deseable una corriente capacitiva para alimentar los consumidores inductivos de la red.

Asimismo, resulta especialmente conveniente que en caso de un cortocircuito en la red se impida la transmisión de potencia reactiva al cortocircuito, porque entonces se alimenta la menor corriente al cortocircuito para no sobrecargar los conmutadores de tensión media existentes.

Además, según otra forma de realización especialmente ventajosa, en el circuito de estator está insertada temporalmente una impedancia adicional para limitar el estator y la corriente de rotor. Por la inserción de la impedancia adicional según las necesidades, pueden limitarse la corriente del estator y la corriente del rotor cuando vuelve la tensión de red.

También resulta especialmente conveniente una forma de realización, en la que en el circuito de estator adicionalmente a la impedancia adicional se inserta un contactor rápido para de esta manera puentear la impedancia adicional durante el funcionamiento normal y no generar pérdidas.

También resulta especialmente ventajoso que en el circuito del estator, paralelamente a la resistencia, esté

insertado al menos un tiristor con una conmutación natural. De esta forma se consigue que, comparado con conmutadores que pueden desconectarse de forma activa, se produzcan pérdidas reducidas en el funcionamiento normal y que los gastos sean más bajos.

Igualmente, de una manera especialmente ventajosa, la disposición de conmutación puede realizarse de tal forma que en el circuito intermedio del convertidor se pone en funcionamiento una resistencia regulada, porque de esta manera pueden ahorrarse algunos componentes en el crowbar y la regulación del ondulador de rotor mide de forma duradera la corriente de fase del rotor.

Otra forma de realización especialmente conveniente de la invención se consigue también si tanto en el crowbar como en el circuito intermedio del convertidor se pone en funcionamiento una resistencia regulada. De este modo, se consigue que se produzca una distribución de la potencia y que puedan emplearse conmutadores individuales más pequeños. Hacia el final del procedimiento de compensación de la corriente de cortocircuito de rotor, se produce la recepción de la corriente total del rotor, y entonces, la regulación del ondulador de rotor mide la corriente de fase total.

Una forma de realización especialmente ventajosa de la invención se consigue también si al volver la tensión de red se desconecta el ondulador del rotor y si, después, la sobrecorriente es recibida por la resistencia regulable, para recibir la corriente del rotor de forma activa una vez que se haya extinguido la sobrecorriente y desconectado la resistencia regulada. De esta manera se evita una posible desconexión o separación de la red de la instalación de energía eólica, especialmente en caso de un retorno repentino de la tensión de red.

La invención admite diferentes formas de realización. Para explicar en detalle el principio básico,

una de ellas está representada en el dibujo y se describe a continuación. Muestran:

La figura 1 una disposición de conmutación según la invención;

la figura 2 un desarrollo posible de un cortocircuito;

la figura 3 una disposición de regulación con resistencia de rotor regulable y resistencia adicional de estator;

la figura 4 un desarrollo temporal de la tensión y la corriente con resistencia adicional;

la figura 5 una disposición de conmutación con diodos inversores reforzados y resistencia de carga regulable en el circuito intermedio.

La figura 1 muestra una disposición de conmutación según la invención. Durante el funcionamiento normal está desconectado un conmutador V15, por ejemplo, IGBT, GTO, IGCT, y el crowbar está totalmente inactivo. La totalidad de la corriente de rotor circula a un convertidor siendo regulada por éste. Si se produce un cortocircuito de red en la tensión media, un generador asíncrono suministra una corriente de cortocircuito de compensación al cortocircuito, debido a la plena excitación. La corriente es limitada únicamente por las inductividades de dispersión del generador asíncrono y del transformador de tensión media, alcanzando la corriente máxima el siguiente valor:

$$I_{estator} \approx 1.8 \bullet \frac{U_{red}}{Xtr + X1 + X2'}$$

Xtr es la impedancia de dispersión total del transformador, X1 es la impedancia de dispersión del estator y X2' es la impedancia de dispersión del rotor. En la práctica, en caso de un cortocircuito en la tensión media, la corriente máxima de estator tiene una magnitud de hasta 8 veces la corriente nominal del estator. La

corriente del rotor está acoplada por transformador con la corriente de estator y también alcanza hasta 8 veces la corriente nominal del rotor. Esta elevada corriente de compensación no puede ser conducida o recibida por el convertidor de una manera razonable técnicamente. Al producirse el cortocircuito, un ondulador de rotor se desconecta debido a la sobrecorriente. La corriente del rotor sigue circulando a través de diodos de marcha libre del ondulador de rotor cargando un circuito intermedio C3. Al mismo tiempo, la tensión aumenta a través de un condensador C10 en el crowbar. Al alcanzar un valor límite de tensión a través del condensador C10 se conecta el conmutador V15. Una resistencia R15 recibe la totalidad de la corriente rectificada del rotor y la tensión baja, a través del condensador C10, por debajo del valor límite de tensión, por lo que se desconecta el conmutador V15. A continuación, la tensión vuelve a aumentar a través del condensador C10, debido a la corriente de rotor, y se vuelve a conectar el conmutador V15. La velocidad de cambio de corriente y, por tanto, también la frecuencia de reloj son determinadas por L15. La frecuencia de reloj asciende hasta el intervalo de kHz y no puede realizarse por la conmutación natural de tiristores, ya que la frecuencia del rotor es como máximo de 15 Hz. Con esta regulación de dos posiciones se genera una contratensión constante para la tensión del rotor y la corriente de compensación se extingue en muy poco tiempo debido a la contratensión constantemente alta. La totalidad de la corriente ha conmutado del convertidor del rotor al crowbar. La corriente de convertidor está próxima a cero. La corriente de crowbar es medida y evaluada por la tarjeta de control. La resistencia de carga está concebida para la corriente máxima y la duración de conexión del conmutador V15 es inicialmente próxima al 100%. A medida que disminuye la corriente de compensación se reduce la

duración de conexión siendo del 12%, aproximadamente, en el caso de la corriente nominal del rotor, lo que corresponde aproximadamente a 1/8 de la corriente máxima. También sería posible prever varias resistencias que puedan conectarse y desconectarse individualmente. Cuando la corriente de compensación pasa por debajo de la corriente nominal del rotor, el conmutador V15 se desconecta completamente y la corriente del rotor vuelve a conmutar al convertidor. El convertidor inicia su funcionamiento y la regulación y alimenta activamente al cortocircuito. Mientras esté activa la resistencia regulable, se puede desconectar el ondulador de red, aunque también es posible un funcionamiento simultáneo. Por razones de seguridad, en el crowbar está previsto un tiristor V10 que mide automáticamente la tensión y se enciende en caso del fallo del conmutador V15 o de un cortocircuito directo del generador. L10 evita un aumento demasiado rápido de la corriente para no destruir el tiristor V10. D10 evita una descarga rápida de un condensador C10 por un conmutador V15. La regulación del conmutador V15 puede producirse, o bien, directamente en el crowbar, o bien, por la tarjeta de control del convertidor.

Un posible desarrollo del cortocircuito está representado en la figura 2, representando la línea discontinua la tensión central y la línea continua la tensión de red. El cortocircuito se produce en el momento 0 mseg. La corriente salta inmediatamente al valor máximo, después de lo cual se extingue debido al procedimiento de compensación. La alta corriente es recibida por el crowbar o la resistencia. Al pasar por debajo de la corriente nominal del rotor, la corriente vuelve a ser recibida y regulada por el convertidor. El generador se sobreexcita y suministra potencia reactiva a la red durante el cortocircuito de la red. Sin embargo, también se puede

alimentar corriente inductiva al cortocircuito. La especificación puede elegirse libremente. Debido a la caída de tensión a través del transformador de tensión media, la tensión de red es del orden de ~ 20% de la tensión nominal. En el momento del retorno de la tensión, la tensión no sube bruscamente al valor nominal, sino a través de un flanco dUJdt. Por la pendiente del flanco de la tensión de red que vuelve y de la constante de tiempo del generador, se produce una sobrecorriente dinámica en el estator y el rotor. Esta sobrecorriente puede ser suministrada por el convertidor y no conduce a la desconexión del ondulador de rotor. Si la pendiente del flanco es demasiado grande o si existe un error de fase entre la tensión del generador y la tensión de red que vuelve, la sobrecorriente dinámica o corriente de compensación aumenta demasiado y se desconecta el ondulador del rotor. También en este caso, la resistencia regulable recibe temporalmente la corriente de compensación y, tras pasar por debajo de la corriente nominal del rotor, se desconecta la resistencia y el ondulador del rotor vuelve a realizar su regulación. Durante la caída de tensión y el retorno de la tensión, se activa temporalmente la resistencia regulable. Durante ese tiempo está desconectado el ondulador del rotor.

En caso de tiempos de aumento de tensión extremadamente rápidos, en el circuito del estator puede insertarse una impedancia adicional, por ejemplo, mediante una resistencia o una bobina de choque. Un sistema de este tipo está representado en la figura 3. Entre el transformador de tensión media y el sistema de generador y convertidor está insertado un contactor K20. Encima del contactor K20, paralelamente, se encuentra una resistencia R20. En caso de producirse el cortocircuito, el contactor K20 se abre y la corriente de estator circula por la resistencia R20.

En la figura 4 está representado el desarrollo temporal de la tensión con la resistencia adicional. La corriente del estator se limita y se extingue más rápidamente que sólo con el crowbar regulado. El contactor tiene que conmutar muy rápidamente para que en caso de caídas de tensión cortas esté activa la resistencia. También se puede emplear un conmutador antiparalelo de tiristor con conmutación natural, que presente, por ejemplo, un tiempo de desconexión de 6,7 mseg. a 50 Hz. De esta forma se consigue un conmutador rápido que, sin embargo, tiene la desventaja de elevadas pérdidas en comparación con la solución del contactor. En la figura 4, el conmutador está abierto al cabo de 10 mseg. Después del procedimiento de compensación, el convertidor a su vez se encarga de la regulación. Debido a la caída de tensión adicional a través de la resistencia, la tensión residual de la red es superior a la impedancia adicional en el estator. Al volver la tensión, la resistencia adicional limita el aumento dinámico de la corriente del estator y permite flancos de tensión más altos o sobrecorrientes más bajas.

Los diodos de marcha libre de módulos IGBT no están concebidos para corrientes pulsatorias muy altas. Por ello, los componentes de la resistencia regulada se colocaron en el crowbar. Una disposición de conmutación con diodos de marcha libre está representada en la figura 5. El conmutador V15 se acopla directamente con el circuito intermedio del convertidor y regula directamente la tensión del circuito intermedio. Esto simplificaría la estructura en su conjunto. El crowbar estándar adicional se mantiene para situaciones extremas.

También es posible renunciar completamente al crowbar. En este caso, la resistencia adicional tiene que concebirse para cualquier situación extrema. En caso de cortocircuito se desconectan los onduladores de rotor IBGT

y la corriente de cortocircuito de rotor circula por los diodos de marcha libre al circuito intermedio. Al sobrepasar un valor límite se activa la resistencia adicional y la energía del cortocircuito se recibe en la resistencia adicional. Una vez extinguida la corriente de cortocircuito se vuelve a activar el ondulador del rotor y se desconecta la resistencia adicional. También es posible desconectar en primer lugar la resistencia adicional y conectar el ondulador de rotor. También es posible un funcionamiento simultáneo de la resistencia adicional y el ondulador del rotor.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición de conmutación destinada especialmente al uso en una instalación de energía eólica con un número de revoluciones variable, comprendiendo un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional y un convertidor, caracterizada porque la resistencia adicional puede regularse mediante un conmutador, de tal forma que, en caso de un cortocircuito en la red, el convertidor pueda desconectarse temporalmente al menos en parte, para recibir temporalmente la corriente de rotor mediante la resistencia adicional, pudiendo volver a conectarse, una vez extinguida la corriente de cortocircuito de rotor, para el acoplamiento activo de una corriente de cortocircuito a la red.

2. Disposición de conmutación según la reivindicación 1, caracterizada porque el convertidor puede conectarse una vez que la corriente de cortocircuito de rotor se haya extinguido por debajo de una corriente nominal del ondulador de rotor.

3. Disposición de conmutación según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizada porque la disposición de conmutación presenta varias resistencias que pueden conmutarse con dependencia o independencia entre sí.

4. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada por un regulador de dos posiciones para regular la resistencia adicional.

5. Disposición de conmutación según al menos una de las

reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la regulación del conmutador se realiza con una modulación de duración de impulsos con una frecuencia de reloj fija.

6. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la regulación del conmutador se realiza con un regulador proporcional, un regulador proporcional-integral o un regulador proporcional, integrante y diferenciante.

7. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la resistencia adicional está realizada como componente de un crowbar.

8. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la regulación del conmutador activo se realiza directamente desde el crowbar.

9. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la regulación del conmutador de crowbar se realiza directamente desde la tarjeta de control del convertidor.

10. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en caso de un cortocircuito en la red, se suministra al cortocircuito una corriente capacitiva o una corriente inductiva.

11. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en caso de un cortocircuito en la red se impide la transmisión de potencia reactiva al cortocircuito.

12. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en el circuito de estator está insertada temporalmente una impedancia adicional para limitar el estator y la corriente de rotor.

13. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en el circuito de estator, paralelamente a la resistencia, está insertado un contactor rápido

14. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en el circuito del estator, paralelamente a la resistencia, está insertado al menos un tiristor con conmutación natural.

15. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque en el circuito intermedio del convertidor se pone en funcionamiento una resistencia regulada.

16. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque tanto en el crowbar como en el circuito intermedio del convertidor se pone en funcionamiento una resistencia regulada.

17. Disposición de conmutación según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque cuando vuelve la tensión de red se desconecta el ondulador del rotor y, después, la sobrecorriente es recibida por la resistencia regulable, y una vez que se haya extinguido la sobrecorriente se desconecta la resistencia regulada y el ondulador de rotor recibe de forma activa la corriente del

rotor.

18. Disposición de conmutación para el uso en una instalación de energía eólica con un número de revoluciones variable comprendiendo un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional y un convertidor, caracterizada porque al aumentar la tensión de red se desconecta el ondulador del rotor y la sobrecorriente es recibida por la resistencia regulable y, una vez extinguida la sobrecorriente, se desconecta la resistencia regulada y el ondulador del rotor recibe de forma activa la corriente del rotor.

RESUMEN

La invención se refiere a una disposición de conmutación destinada especialmente al uso en una instalación de energía eólica con un número de revoluciones variable, comprendiendo un generador asíncrono de doble alimentación, un crowbar, una resistencia adicional y un convertidor. Para poder cumplir los requerimientos de los explotadores de red, en la que se pueda garantizar especialmente un acoplamiento duradero de la red, para que la instalación de energía eólica pueda volver a establecer y estabilizar la red una vez terminado el cortocircuito de red de tensión media, según la invención se propone que la resistencia adicional pueda regularse con la ayuda de un conmutador rápido, de tal forma que en caso de un cortocircuito en la red, el convertidor pueda desconectarse temporalmente al menos en parte. De esta forma, la corriente del rotor es recibida temporalmente por la resistencia temporal y, una vez extinguida la corriente de cortocircuito del rotor, se desconecta de modo que, a continuación, el convertidor pueda volver a conectarse y suministrar a la red la corriente activa deseada del cortocircuito.

Siguen 4 hojas de dibujos numeradas correlativamente.

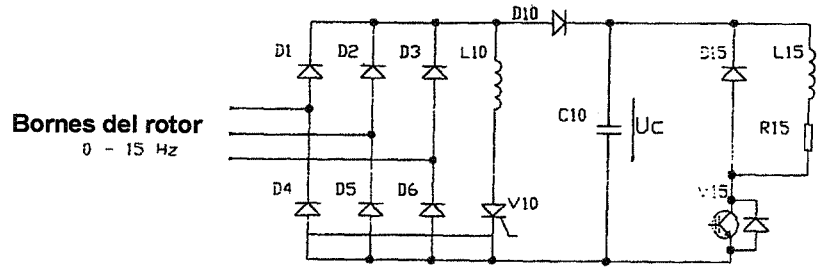

Bornes del rotor
0 - 15 Hz
D1
D2
D3
L10
D10
C10
Uc
D15
L15
R15
D4
D5
D6
V10
V15

Fig. 1

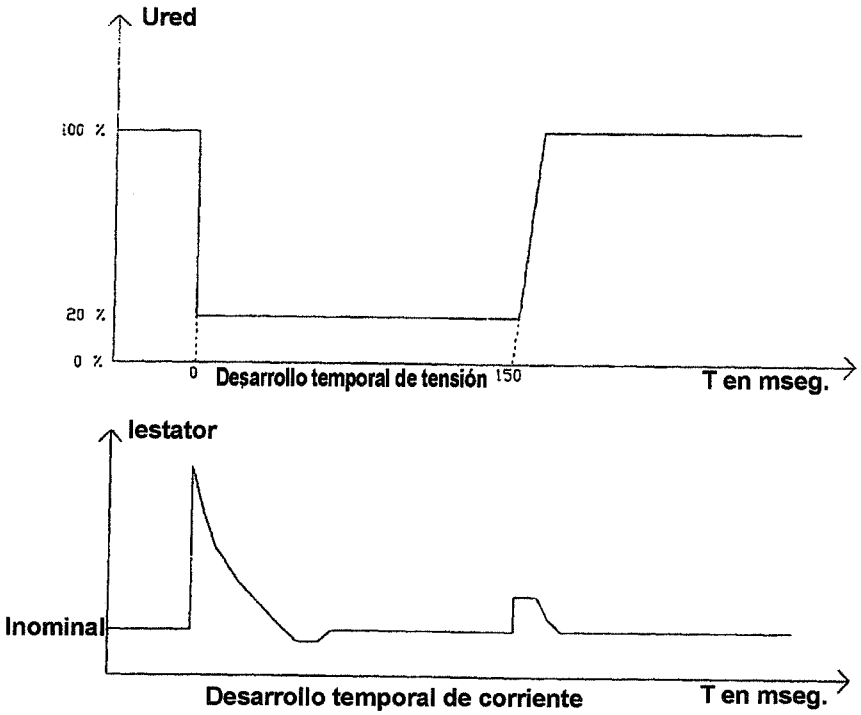

Ured
100 %
20 %
0 %
0
Desarrollo temporal de tensión
150
T en mseg.
Iestator
Inominal
Desarrollo temporal de corriente
T en mseg.

Fig. 2

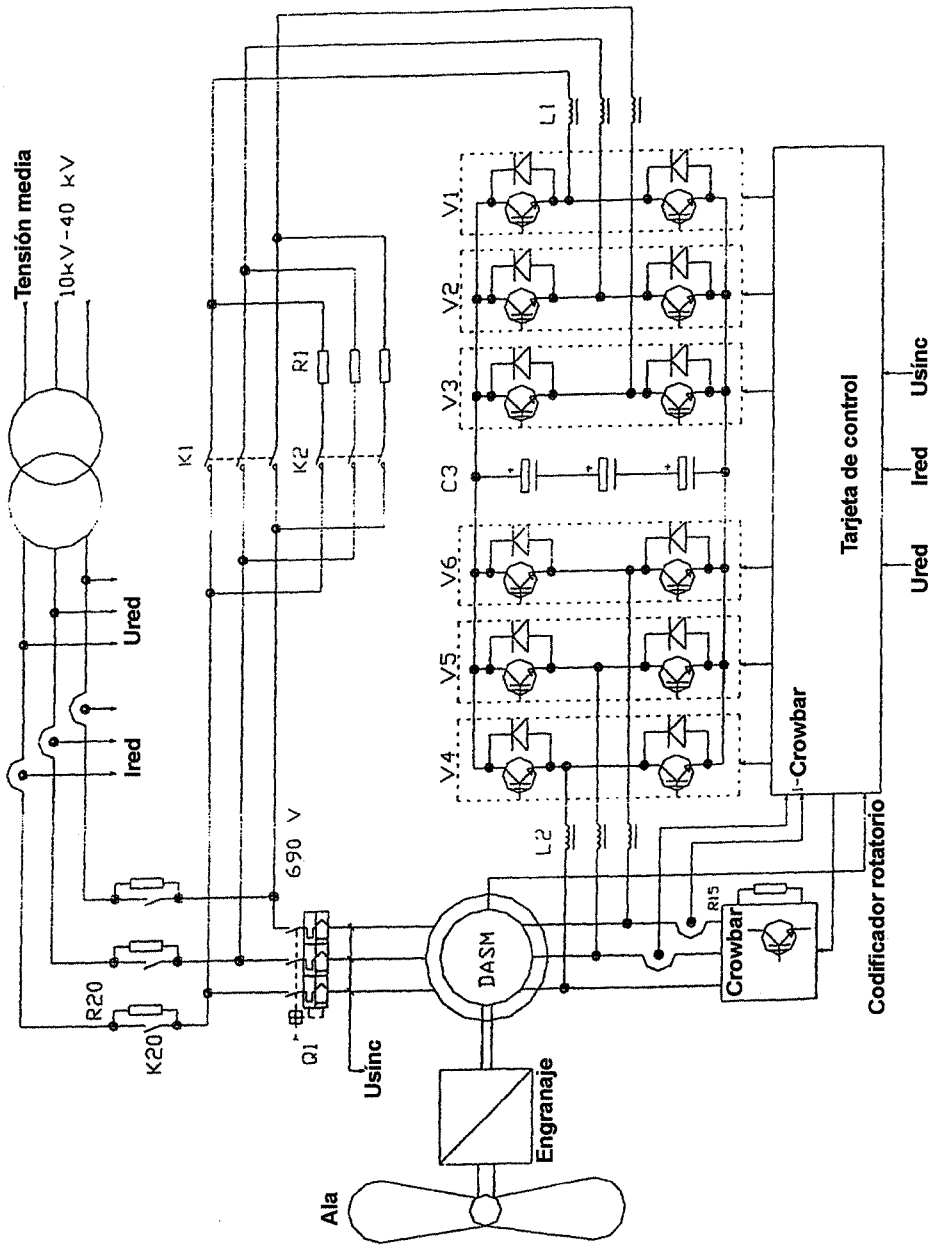

Tensión media
10kV-40 kV
Ured
Ired
R20
K20
K1
K2
R1
690 V
Q1
Usinc
DASM
Engranaje
Ala
L1
L2
V1
V2
V3
V4
V5
V6
C3
R15
Crowbar
Tarjeta de control
Crowbar
Codificador rotatorio
Usinc
Ired
Ured

Fig. 3

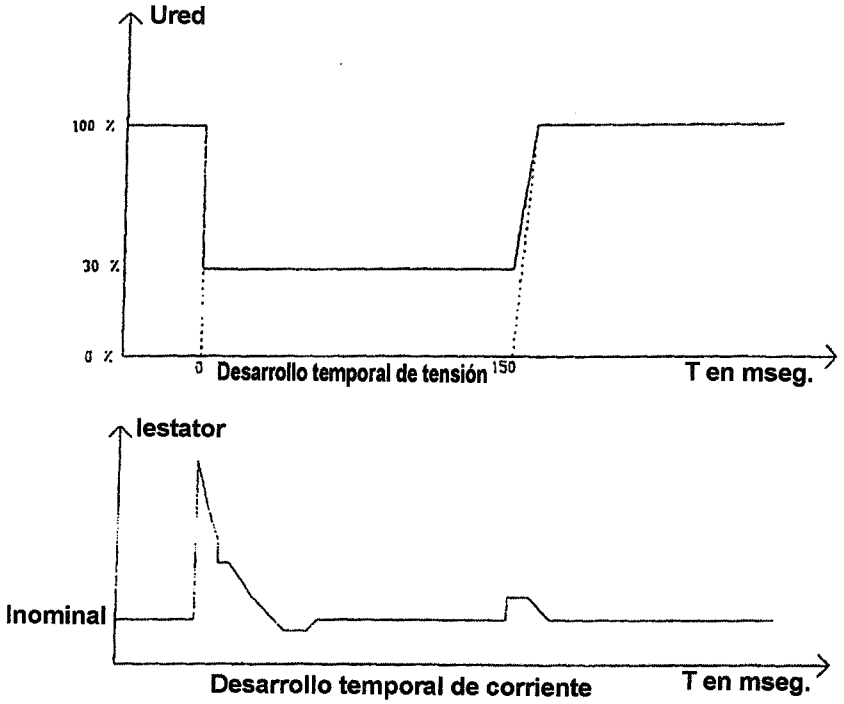

Ured
100 %
30 %
0 %
0
Desarrollo temporal de tensión
150
T en mseg.
Iestator
Inominal
Desarrollo temporal de corriente
T en mseg.

Fig. 4

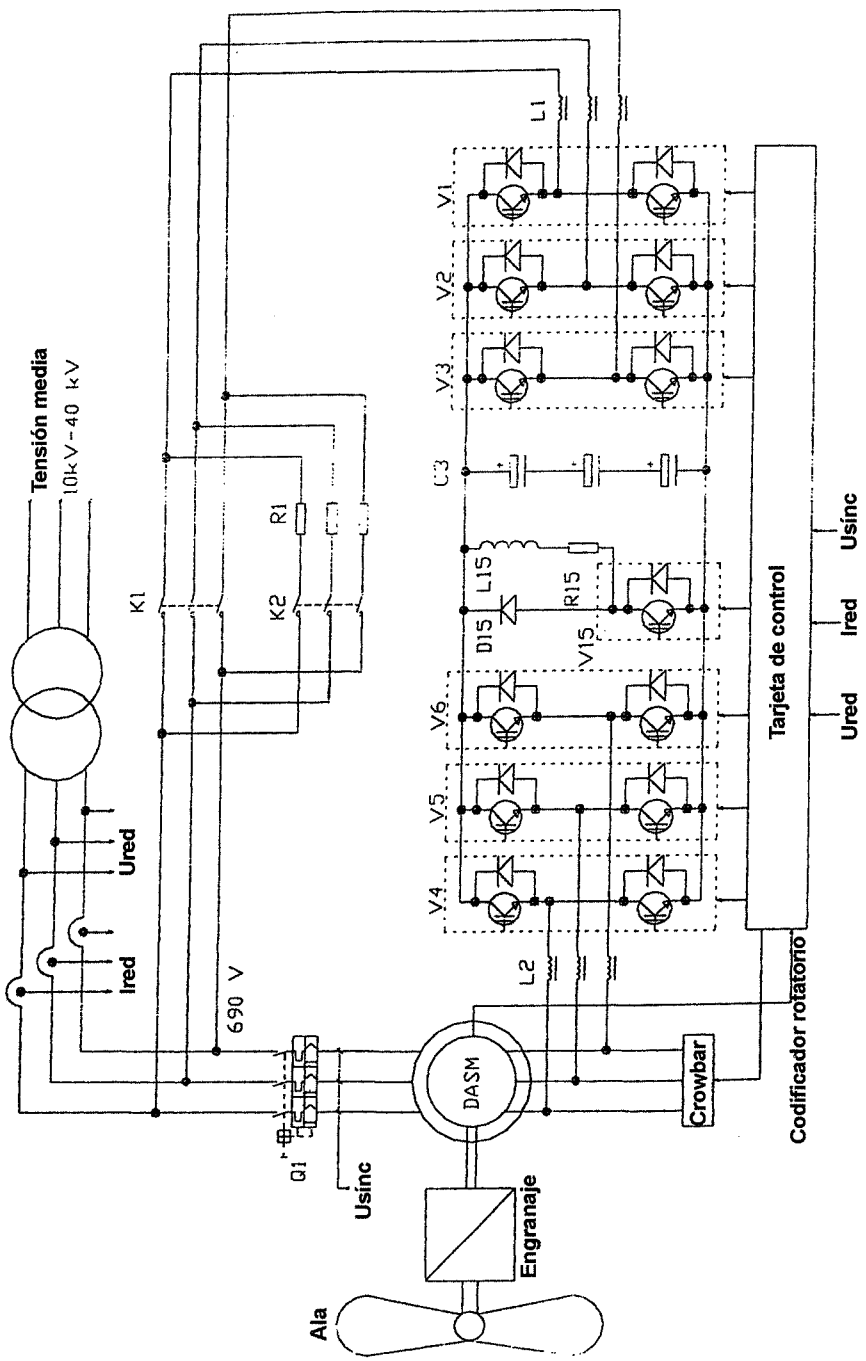

Tensión media
10kV-40 kV
Ured
Ired
690 V
K1
K2
R1
Q1
Usinc
DASM
Engranaje
Ala
Crowbar
L1
L2
V1
V2
V3
C3
L15
D15
R15
V15
V6
V5
V4
Tarjeta de control
Usinc
Ired
Ured
Codificador rotatorio

Fig. 5