

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 935**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/42 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2008 E 08761574 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.02.2016 EP 2166226**

54 Título: **Sistema y procedimiento de control de aerogeneradores**

30 Prioridad:

01.06.2007 ES 200701511

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

27.05.2016

73 Titular/es:

**ACCIONA WINDPOWER S.A. (100.0%)
Av. Ciudad de la Innovación n. 5
31621 Sarriguren, Navarra, ES**

72 Inventor/es:

**ALONSO SADABA, ÓSCAR;
ARLABAN GABEIRAS, TERESA;
ROYO GARCÍA, RICARDO y
NÚÑEZ POLO, MIGUEL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 571 935 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento de control de aerogeneradores

5 La siguiente invención, según se establece en el título de la presente memoria descriptiva, se refiere a un sistema de control para un aerogenerador, siendo tal aerogenerador una turbina de velocidad variable y teniendo un generador de inducción doblemente alimentado, mediante el que se reparte la producción de potencia reactiva entre el estátor y el convertidor del lado de línea.

Dicho reparto se realiza basándose en el criterio de mantener la temperatura de funcionamiento de todos los subsistemas lo más alejada posible de sus correspondientes límites.

10 Así, la presente invención tiene por objeto divulgar un sistema de control por el que se produce la potencia reactiva demandada utilizando ambas capacidades, repartiendo dicha producción de potencia reactiva (tanto inductiva como capacitiva) con el criterio de mantener la temperatura de funcionamiento de cada subsistema lo más alejada posible de su correspondiente límite, alargando así la vida útil de cada subsistema.

Campo de la invención

15 La presente memoria describe un sistema de control de aplicación en los aerogeneradores de velocidad variable que incorporan un generador de inducción doblemente alimentado.

Antecedentes de la invención

20 En cuanto a documentos que tengan relación con el objeto de la invención los autores de la invención pueden considerar la patente de los Estados Unidos número US 5083039 A1 que describe una máquina con control estático en la que el estátor de dicha máquina está conectado a un convertidor, siendo dicho convertidor capaz de volcar a la red energía eléctrica con el factor de potencia demandado.

Por otra parte, en la patente EP 1508951 A1 se describe un sistema y un procedimiento por el que un conjunto de generadores genera la potencia activa y reactiva demandada por un sistema de control, con cada uno de los valores de demanda de generador generándose atendiendo a los límites de tensión y a la capacidad térmica del generador eléctrico. Los convertidores del lado de red en dicho sistema también pueden generar potencia reactiva.

25 En la tesis doctoral de Dimitrius Arsudis que tiene por título "Doppeltgespeister Drehstromgenerator mit Spannungszwischenkreis- Umrichter im Rotorkreis für Windkraftanlagen" se describe un procedimiento de control de una máquina de inducción doblemente alimentada por la que se genera en el estátor de la máquina la cantidad de potencia reactiva demandada controlando las corrientes rotóricas de una manera adecuada.

30 Además, los autores de la presente invención también consideran la tesis doctoral de Lars Helle, que tiene por título "Modeling and Comparison of Power Converters for Doubly Fed Induction Generators in Wind Turbines" (Instituto Universitario de Energía Tecnológica, 4-10-2.007), que describe un generador doblemente alimentado para aplicación de aerogenerador, con capacidad para generar potencia reactiva tanto por el estátor como por el convertidor del lado de red. También detalla los modelos térmicos de componentes eléctricos de máquinas y divulga como estimar la diferente temperatura de funcionamiento de los diferentes componentes.

35 **Descripción de la invención**

40 La presente memoria describe un sistema de control para un aerogenerador, siendo tal aerogenerador una turbina de velocidad variable y teniendo un generador de inducción doblemente alimentado, lo que establece un reparto de producción de potencia reactiva, tanto inductiva como capacitiva, entre el estátor y el convertidor del lado de red basado en el criterio de mantener la temperatura de funcionamiento de todos los subsistemas lo más alejada posible de sus correspondientes límites, alargando así la vida útil de dichos subsistemas.

Los elementos que constituyen el sistema eléctrico se agrupan en varios subsistemas donde los componentes de cada subsistema tienen un comportamiento térmico similar ante un determinado reparto de potencia reactiva.

Esos subsistemas son:

-el estátor;

45 -el rotor, el convertidor del lado del rotor y cualquier otro componente que esté eléctricamente conectado entre ambos y;

-el convertidor del lado de red y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica.

El estado térmico de cada componente se caracteriza por un índice (t_x) que refleja la cercanía de su temperatura actual, medida o estimada, a su máxima temperatura de funcionamiento.

50 El reparto de producción de potencia reactiva se realiza considerando a los componentes de cada grupo con mayor

índice (t_x) y conforme a unos coeficientes de reparto asociados a cada subsistema que minimizan sus pérdidas, siendo dichos coeficientes previamente calculados a partir de la demanda de potencia reactiva, el actual nivel de potencia activa y tensión y las curvas PQTV de la máquina.

5 El reparto de potencia reactiva es calculado cíclicamente utilizando bien un regulador lineal o bien uno no lineal basado en umbrales e histéresis.

Dicho reparto de producción de potencia reactiva descrito se interrumpe ante un evento de un fallo en la red, pasándose a una demanda de potencia reactiva adecuada para respaldar la recuperación de red y evitar la desconexión de las máquinas, reanudándose dicho reparto cuando se resuelve el fallo en la red.

10 Un objeto adicional de la invención es un procedimiento de control de aerogeneradores que comprende las siguientes etapas;

-determinar la temperatura de los elementos,

-calcular la cercanía de esas temperaturas a la temperatura límite correspondiente de cada elemento,

15 -repartir la producción de potencia reactiva (tanto inductiva como capacitiva) entre el estátor y el convertidor del lado de red basándose en el criterio de mantener la temperatura de funcionamiento de todos los subsistemas lo más alejada posible de sus correspondientes límites.

Igualmente comprende además la etapa de agrupar los elementos eléctricos en diversos subsistemas, donde los componentes de cada subsistema tienen un comportamiento térmico similar ante un determinado reparto de potencia reactiva.

Así, esos subsistemas son:

20 el estátor;

el rotor, el convertidor del lado del rotor y cualquier otro componente que esté eléctricamente conectado entre ambos y;

el convertidor del lado de red y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica.

25 El estado térmico de cada componente se caracteriza por un índice (t_x) que refleja la cercanía de su temperatura actual, medida o estimada, a su máxima temperatura de funcionamiento.

El reparto de producción de potencia reactiva se realiza considerando a los componentes con mayor índice (t_x) en cada grupo y según ciertos coeficientes de reparto asociados a cada subsistema que minimizan sus pérdidas, siendo dichos coeficientes previamente calculados como una función de la demanda de potencia reactiva, el actual nivel de potencia activa y tensión y las curvas PQTV de la máquina.

30 Cuando el índice t_x de todos los subsistemas está por debajo de un determinado umbral, el coeficiente de reparto pasa a ser el que optimiza la eficacia del conjunto del sistema.

El reparto de potencia reactiva es calculado cíclicamente utilizando bien un regulador lineal o bien uno no lineal basado en umbrales e histéresis.

35 Dicho reparto de producción de potencia reactiva descrito se interrumpe ante un evento de un fallo en la red, pasándose a una demanda de potencia reactiva adecuada para respaldar la recuperación de red y evitar la desconexión de las máquinas, reanudándose dicho reparto cuando se resuelve el fallo en la red.

Para complementar la descripción que seguidamente se va a realizar y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva de un juego de dibujos en los que, de una forma ilustrativa más que limitativa, se representan los detalles más característicos de la invención.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Figura 1. Muestra un aerogenerador de velocidad variable en base a un generador de inducción doblemente alimentado

Figura 2. Muestra un aerogenerador de velocidad variable en base a un generador de inducción doblemente alimentado, generando el estátor tensión media o a alta.

45 Figura 3. Muestra un esquema básico del control de la presente invención.

Figura 4. Muestra un esquema de control detallado, según una realización preferente, de la presente invención.

Descripción de una realización preferente

A la vista de las comentadas figuras y de acuerdo con la numeración adoptada, los autores de la invención pueden observar un aerogenerador de velocidad variable en base a un generador de inducción doblemente alimentado que comprende:

-un rotor 1;

5 -una caja de engranajes 2;

-un generador en el que puede distinguirse el estátor 3 y el rotor 4 y;

-un convertidor que comprende dos partes, el convertidor del lado del rotor 5 y el convertidor del lado de red 6.

En el caso de generadores de media o alta tensión, se incorpora además un transformador 7 que gestiona toda la potencia generada o consumida por el rotor.

10 Tal como se muestra en las figuras 1 y 2, el estátor de la máquina eléctrica produce una potencia reactiva Q_s , mientras que el convertidor del lado de red produce una potencia reactiva Q_c , donde ambas pueden ser positivas (factor de potencia capacitiva) o negativas (factor de potencia inductiva) y no necesariamente del mismo signo. El total de potencia reactiva producida por el aerogenerador será la resultante de sumar ambas componentes.

15 El objetivo del sistema de control será calcular un coeficiente de reparto α que determine la cantidad y signo de la potencia reactiva que se produce en el estátor y el convertidor, según las siguientes expresiones:

$$Q_{sref} = \alpha * Q_{sm}$$

$$Q_{cref} = Q_{ref} - Q_{sref}$$

20 Donde Q_{ref} es la demanda de potencia reactiva global demandada al aerogenerador, Q_{sm} es la máxima capacidad de producción de potencia reactiva del estátor de la máquina, Q_{sref} la demanda de potencia reactiva de estátor calculada y Q_{cref} la demanda de potencia reactiva de convertidor del lado de red, siendo estos últimos dos valores calculados como una función del coeficiente de reparto α que puede tomar valores entre -1 y + 1.

En la figura 3 se representa un esquema básico de la presente invención, donde en el módulo 8 se realiza el cálculo del coeficiente de reparto α .

25 Como una función tanto de dicho coeficiente de reparto como de la demanda global de potencia reactiva (Q_{ref}) se calculan en el módulo 9 los valores de demanda de potencia reactiva para el estátor (Q_{sref}) y para el convertidor del lado de red (Q_{cref}).

Teniendo como un valor de demanda Q_{sref} , el convertidor del lado del rotor 5 generará las corrientes adecuadas en el rotor del generador de forma que el estátor produzca la potencia reactiva demandada.

Los componentes eléctricos antes descritos se pueden agrupar en diversos subsistemas, donde los componentes de cada subsistema tienen un comportamiento térmico similar en un reparto de potencia reactiva determinado.

30 Atendiendo a dicho criterio, en una realización preferente, pueden distinguirse tres subsistemas distintos:

- el estátor 3.
- el rotor 4, el convertidor del lado del rotor 5 y cualquier otro componente eléctricamente conectado entre ambos.
- el convertidor del lado de red 6 y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica tal como por ejemplo un transformador 7 en el caso de generadores de media o alta tensión.

35 La figura 4 muestra una realización preferente del sistema de control de la presente invención.

Según dicha realización, un índice (t_x) se calcula en módulo 10 para cada componente que refleja la cercanía de la temperatura actual a su temperatura máxima de funcionamiento.

Dicho índice según dicha realización preferente se calcularía del siguiente modo:

$$t_x = \frac{T_{comp} - T_{amb}}{T_{max.} - T_{amb}}$$

Donde T_{comp} es la temperatura del componente "x" (medida o estimada), T_{amb} es la temperatura ambiente y T_{max} es la temperatura máxima de funcionamiento de dicho componente.

Se tomará como la temperatura ambiente bien la temperatura de la góndola o bien la de la base de la torre dependiendo de donde esté localizado cada componente.

- 5 En el módulo 11 de la figura 4, se toma como el valor indicativo del calentamiento de cada subsistema el índice (t_x) del componente que está más cerca de su valor máximo, o, lo que es lo mismo, el que su índice está más cerca de 1.

Según una realización preferente descrita en la figura 4, se calcula, en el módulo 12, un coeficiente de reparto α_{opt} para cada subsistema que minimiza las pérdidas de dicho subsistema.

- 10 También se determina un coeficiente α_{opt} que optimiza la eficacia general del sistema. El valor de estos coeficientes se obtiene de curvas pre-programadas obtenidas con anterioridad en base a estudios técnicos y análisis experimentales realizados sobre el sistema de generación concreto a controlar.

- 15 Estas curvas tienen como datos de entrada la demanda de potencia reactiva, el actual nivel de potencia activa y la tensión. Para ello, se tiene en cuenta en el módulo 13 la capacidad de producción de potencia reactiva máxima del estátor Q_{sm} y la capacidad de producción de potencia reactiva máxima Q_{cm} , que dependen ambas de la potencia activa, tensión de red y temperatura ambiente donde se encuentren dichos componentes (curvas PQTV).

Según una realización preferente y tal como se indica en la figura 4, en el módulo 14 se calcula cíclicamente el coeficiente de reparto α , con el objetivo de que evolucione hacia el valor α_{opt} que reduce las pérdidas del subsistema con mayor índice (t_x) y que por lo tanto tiene el componente que está en ese momento más cerca de su temperatura límite.

- 20 No obstante, cuando todos los subsistemas se encuentran térmicamente alejados de sus correspondientes límites, el coeficiente objetivo pasa a ser el que optimiza el rendimiento del conjunto del sistema. Dicha evolución del índice de reparto se puede hacer utilizando un regulador lineal (PID o similar) o un algoritmo no lineal en base a umbrales e histéresis.

- 25 Para cualquier procedimiento de regulación comentado, el módulo 14 también determina los límites mínimo y máximo de α como una función de las condiciones de funcionamiento actuales. El valor de α así calculado deberá ser saturado para quedar siempre dentro del intervalo permitido.

En el caso de eventos de red como pueden ser huecos de tensión, sobretensiones, subtensiones u otros, se interrumpe de manera transitoria el reparto de potencia reactiva descrito, pasándose a una demanda de potencia reactiva adecuada (en cantidad y signo) para respaldar la recuperación de la red y evitar la desconexión de las máquinas.

- 30 Una vez resuelto el mencionado evento de red, se reanuda el sistema de control de reparto de potencia reactiva de la presente invención en el estado en que estaba antes de la aparición del evento.

- 35 Igualmente se describe un procedimiento de control para un aerogenerador que se basa en determinar la temperatura de los elementos eléctricos, calcular la cercanía de dichas temperaturas a la temperatura límite correspondiente de cada elemento y repartir la producción de potencia reactiva (tanto inductiva como capacitiva) entre el estátor 3 y el convertidor del lado de red 6 en base al criterio de mantener cada temperatura de funcionamiento de cada subsistema lo más alejada posible de su correspondiente límite.

Además comprende la etapa de clasificar los elementos constituyentes del sistema eléctrico, agrupándolos en diversos subsistemas donde los componentes de cada subsistema tienen un comportamiento térmico similar ante un reparto de potencia reactiva determinado.

- 40 Esos subsistemas son el estátor 3, el rotor 4, el convertidor del lado del rotor 5 y cualquier otro componente que esté eléctricamente conectado entre ambos; así como el convertidor del lado de red 6 y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica.

El estado térmico de cada componente se caracteriza por un índice (t_x) que refleja la cercanía de su temperatura actual, medida o estimada, a su máxima temperatura de funcionamiento.

- 45 El reparto de producción de energía reactiva se realiza considerando a los componentes con un mayor índice (t_x) en cada grupo y según determinados coeficientes de reparto asociados a cada subsistema que minimizan sus pérdidas, siendo dichos coeficientes previamente calculados como una función de la demanda de potencia reactiva, el actual nivel de potencia activa y tensión y las curvas PQTV de la máquina.

- 50 Cuando el índice t_x de todos los subsistemas está por debajo de un determinado umbral, el coeficiente de reparto pasa a ser el que optimiza el rendimiento del conjunto del sistema.

El reparto de potencia reactiva es calculado cíclicamente utilizando bien un regulador lineal o bien uno no lineal basado en umbrales e histéresis.

Dicho reparto de producción de potencia reactiva se interrumpe en el evento de un fallo en la red, pasándose a una demanda de potencia reactiva adecuada para respaldar la recuperación de la red y evitar la desconexión de las máquinas, reanudándose dicho reparto cuando el fallo en la red es resuelto.

REIVINDICACIONES

- 1.- **Sistema de control para un aerogenerador**, siendo tal aerogenerador una turbina de velocidad variable y teniendo un generador de inducción doblemente alimentado, comprendiendo dicho sistema de control medios para obtener una temperatura de funcionamiento de componentes eléctricos por medio de una opción seleccionada del grupo que consiste en medir y estimar y que está configurado para establecer un reparto de producción de potencia reactiva, α , entre un estátor y un convertidor del lado de red, valores de demanda de producción de potencia reactiva para el estátor, Q_{sref} y para un convertidor del lado de red, Q_{cref} , calculándose para cumplir una demanda de producción de potencia reactiva global, Q_{ref} , demandada para el generador del aerogenerador, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un módulo de reparto (14) para calcular ciclicamente el reparto de producción de potencia reactiva, α , lo que reduce pérdidas en el componente cuya temperatura, T_{comp_x} , está más cerca de su temperatura límite, T_{max} .
- 2.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un módulo de computación óptima (12) para calcular un reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} que minimiza las pérdidas **en aquel** componente cuya temperatura está más cercana a su límite, calculándose dicho reparto de producción de potencia reactiva óptimo como una función de la demanda de potencia activa, P_{ref} , la demanda de potencia reactiva, Q_{ref} y una tensión de red, V y **porque** el módulo de reparto (14) está configurado para modificar el reparto de producción de potencia reactiva, α , hacia dicho reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .
- 3.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 2, **caracterizado porque** almacena valores pre-programados en base a los que el módulo de computación óptima (12) calcula el reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .
- 4.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 3, **caracterizado porque** el cálculo del reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} , se hace teniendo en cuenta capacidades de producción de potencia reactiva máximas del estátor, Q_{sm} y un convertidor del lado de línea, Q_{cm} , que se calculan como una función de la demanda de potencia activa, la tensión de red y una temperatura ambiente en donde esos componentes están localizados.
- 5.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el módulo de reparto (14) es un regulador seleccionado del grupo que consiste en un regulador lineal y en un regulador no lineal en base a umbrales y a histéresis.
- 6.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la cercanía de la temperatura del componente, T_{comp_x} a su temperatura límite, T_{max} , **se caracteriza por** medio de un índice, t_x , calculado como la diferencia entre la temperatura límite, T_{max} , y la del componente, T_{comp_x} , normalizada por la diferencia entre la temperatura límite, T_{max} , y la temperatura ambiente, T_{amb} .
- 7.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 6, **caracterizado porque** los elementos que constituyen el sistema eléctrico están agrupados en diversos subsistemas donde cada uno de los componentes del subsistema tiene un comportamiento térmico equivalente en cualquier reparto de producción de potencia reactiva, α , siendo dichos subsistemas como sigue:
- el estátor (3);
 - un rotor (4), un convertidor del lado de rotor (5) y cualquier otro componente que esté eléctricamente conectado entre ambos y;
 - el convertidor del lado de red (6) y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica,
- y **porque** el reparto de producción de potencia reactiva, α , se calcula considerando el componente de cada subsistema con mayor índice de calentamiento, t_x .
- 8.- **Sistema de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 6, **caracterizado porque** cuando el índice, t_x de todos los subsistemas está por debajo de un umbral, el módulo de computación óptima (12) está configurado para calcular el reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} , que optimiza la eficacia global del sistema en base a valores pre-programados, la demanda de potencia activa y reactiva y la tensión de red y **porque** el módulo de reparto (14) está configurado para modificar el reparto de producción de potencia reactiva, α , hacia dicho reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .
- 9.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, aplicado en un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque se lleva a cabo ciclicamente y comprende las siguientes etapas:
- obtener la temperatura de los componentes eléctricos, T_{comp_x} , por medio de una opción seleccionada del grupo que consiste en medición y estimación,
 - calcular la cercanía de esas temperaturas a la temperatura límite correspondiente de cada elemento, T_{max} ,

-seleccionar el componente cuya temperatura está más cerca del límite,

-calcular (14) un nuevo reparto de producción de potencia reactiva, α , que consiste en una nueva demanda de producción de potencia reactiva del estátor, Q_{sref} y una nueva demanda de producción de potencia reactiva del convertidor del lado de red, Q_{cref} , tal que la demanda de producción de potencia reactiva global, Q_{ref} , se cumple; y las pérdidas en dicho componente más caliente se reducen.

5
10
10.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 9, **caracterizado porque** comprende además la etapa de calcular el reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} , que minimiza las pérdidas **en aquel** componente cuya temperatura está más próxima a su límite, como una función de la demanda de potencia activa, P_{ref} , la demanda de potencia reactiva, Q_{ref} y la tensión, V y **porque** el reparto de producción de potencia reactiva, α , se modifica hacia dicho reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .

11.- Procedimiento de control para un aerogenerador, según la reivindicación 10, **caracterizado porque** el reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} , está calculado en base a valores pre-programados.

15
12.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 11, **caracterizado porque** calcula las capacidades de producción de potencia reactiva máximas del estátor, Q_{sm} y el convertidor del lado de línea, Q_{cm} , en base a la demanda de potencia activa, la tensión de red y la temperatura ambiente donde están localizados esos componentes, aplicándose dichos límites en el cálculo del reparto de producción de potencia reactiva nuevo, α , con el que se generan nuevos valores de producción de potencia reactiva, Q_{sref} y Q_{cref} .

20
13.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 12, **caracterizado porque** el reparto de producción de potencia reactiva nuevo, α , se calcula en el bloque (14) cíclicamente usando un regulador a partir del grupo que consiste en el regulador lineal y el regulador no lineal en base a umbrales e histéresis, comenzando a partir del reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .

25
14.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 13, **caracterizado porque** la cercanía de la temperatura del componente, T_{comp_x} , a su temperatura límite, T_{max} , **está caracterizada** por medio del índice, t_x , calculado como la diferencia entre la temperatura límite, T_{max} , y la del componente, T_{comp_x} , normalizada por medio de la diferencia entre la temperatura límite, T_{max} y la temperatura ambiente, T_{amb} .

15.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 14, **caracterizado porque** comprende adicionalmente la etapa de agrupar los elementos eléctricos en diversos subsistemas donde cada uno de los componentes de subsistemas tiene un comportamiento térmico equivalente en cualquier reparto de producción de potencia reactiva, α , siendo dichos subsistemas como sigue:

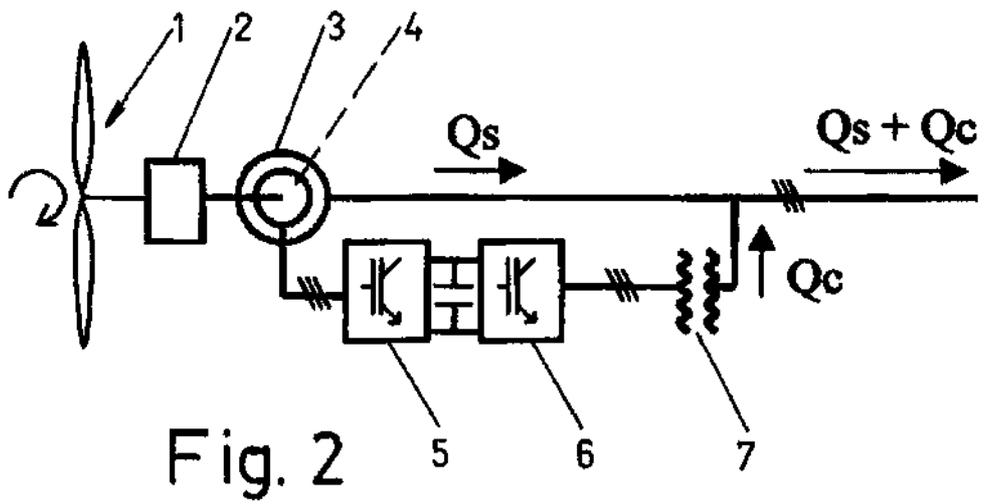
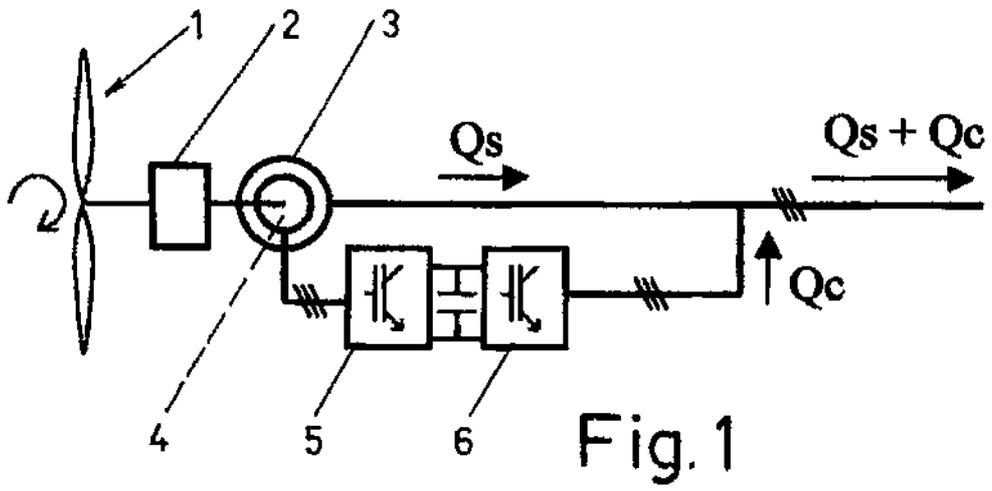
30 -el estátor (3);

-el rotor (4), el convertidor del lado del rotor (5) y cualquier otro componente eléctricamente conectado entre ambos; y

-el convertidor del lado de red (6) y cualquier otro componente entre el convertidor y la red eléctrica,

y **porque** el reparto de producción de potencia reactiva, α , se calcula considerando el componente de cada subsistema con mayor índice de calentamiento, t_x .

35
40 16.- **Procedimiento de control para un aerogenerador**, según la reivindicación 14, **caracterizado porque** comprende adicionalmente la etapa de, cuando el índice, t_x , de todos los subsistemas está por debajo de un umbral, calcular el reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} , que optimiza la eficacia global del sistema en base a los valores pre-programados, la demanda de potencia activa y reactiva y la tensión y modificar el reparto de producción de potencia reactiva, α , hacia dicho reparto de producción de potencia reactiva óptimo, α_{opt} .



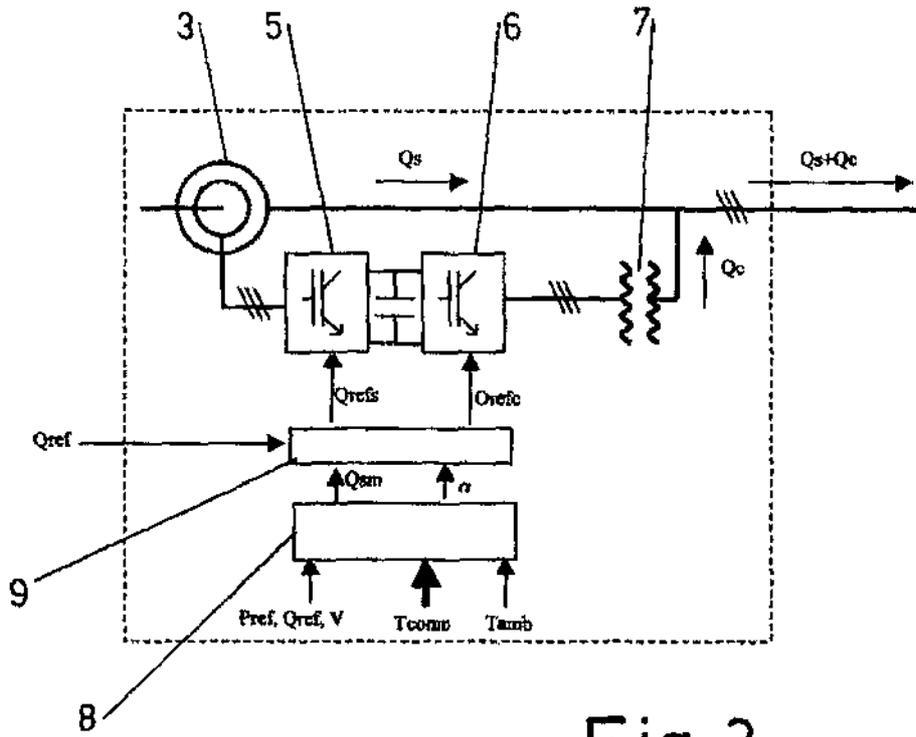


Fig. 3

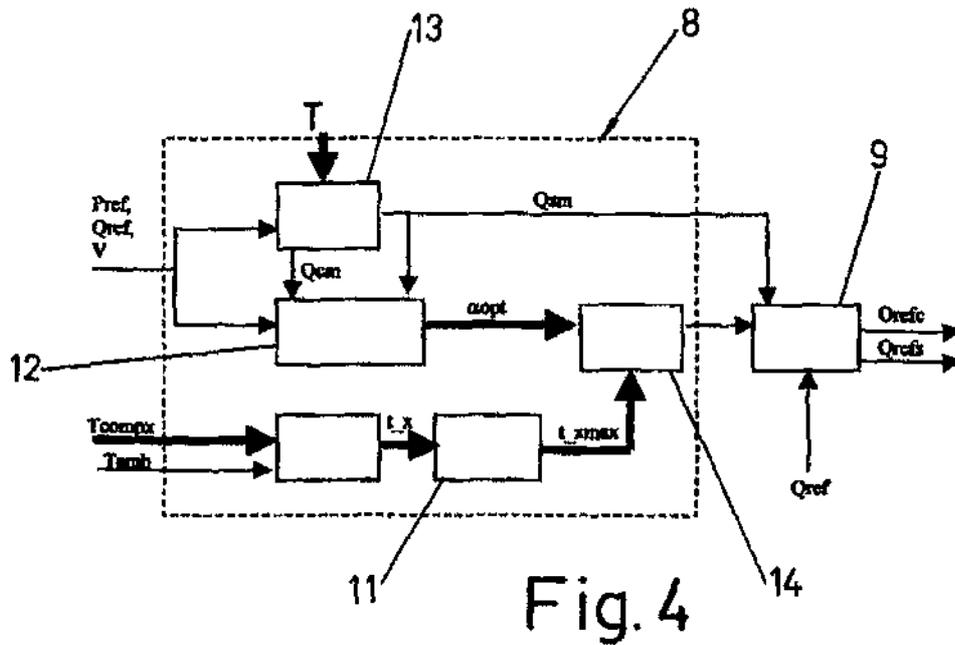


Fig. 4