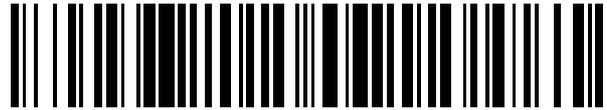


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 806**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 9/00** (2006.01)

**F03D 11/00** (2006.01)

**H02J 3/01** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2008 E 08001893 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015 EP 1959136**

54 Título: **Parque eólico, que comprende instalaciones de energía eólica con ángulo de inclinación desplazable unas con respecto a las otras**

30 Prioridad:

**01.02.2007 DE 102007005852**

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

**02.12.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LETAS, HEINZ-HERMANN, DR. y  
MATZEN, BJÖRN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 552 806 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**

Parque eólico, que comprende instalaciones de energía eólica con ángulo de inclinación desplazable unas con respecto a las otras

5 La invención se refiere a un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, que presentan, respectivamente, un rotor y un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica, y con una conexión eléctrica a través de la cual la energía eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica es conducida a un punto de conexión a la red y que presenta una red colectora, en la que están conectadas las instalaciones de energía eólica a través de transformadores de turbinas, en el que un primer grupo de instalaciones de energía eólica presenta una fase articulada al menos frente a otro grupo.

10 Para garantizar una seguridad de suministro alta, las redes de corriente deben cumplir requerimientos estrictos con respecto al mantenimiento de ciertos parámetros eléctricos. Un parámetro esencial de la calidad de la red es el contenido de armónicos superiores. Las regulaciones competentes limitan la amplitud y la ordenación de los armónicos superiores para obtener una calidad suficiente de la red. Las instalaciones de energía eólica modernas controladas por convertidor generan en virtud de los procesos de conmutación en el convertidor armónicos superiores en extensión significativa. Se miden en el marco de una verificación del tipo que debe realizarse para cada tipo de instalación de energía eólica. Utilizando especificaciones correspondientes, como por ejemplo directrices de conexión a la red de la Asociación de la Economía de la Electricidad VDEW, se determina un factor de conexión, que es una medida para la carga con armónicos superiores. El factor de conexión indica qué potencia de cortocircuito debe presentar la red con respecto a la potencia nominal de la instalación de energía eólica. Si deben conectarse varias instalaciones de energía eólica en la red, como en el caso de un parque eólico, entonces se eleva en casos desfavorables la potencia de cortocircuito requerida linealmente con el número de las instalaciones de energía eólica a conectar. En regiones distantes o aquéllas con estructura débil de la red, la potencia de cortocircuito presente en realizada no es suficiente con frecuencia, de manera que debe limitarse el número de las instalaciones de energía eólica a conectar.

25 Para evitar una limitación de este tipo con respecto al número de las instalaciones de energía eólica que se pueden conectar, se conoce interconectar las instalaciones de energía eólica de un parque a través de transformadores con diferente geometría del arrollamiento, de tal manera que se contrarrestan los armónicos superiores perturbadores entre sí (DE-C-42 32 356). De esta manera, los transformadores de tensión media previstos para la conexión de las instalaciones de energía eólica en la red colectora propia del parque pueden estar configurados en determinadas instalaciones de energía eólica del parque eólico, por decirlo así, como transformadores en triángulo, mientras que en las restantes instalaciones de energía eólica los transformadores de tensión media están realizados como transformadores de estrella (US-B-7 071 579). A través de las diferentes propiedades de los transformadores resultan desplazamientos de fases. Por medio del diseño selectivo de los transformadores se puede conseguir que determinados armónicos superiores se debiliten o bien se compensen entre sí en virtud de la diferencia de fases. El parque eólico en conjunto se comporta de esta manera frente a la red, desde el punto de vista de los armónicos superiores, como un parque eólico con un número más reducido de instalaciones de energía eólica, es decir, que se mejora el factor de conexión del parque eólico en general.

40 De esta manera, también parques eólicos mayores se pueden conectar en redes más débiles. Pero un inconveniente de este tipo de compensación de los armónicos superiores es que son necesarios diferentes transformadores de tensión media. Esto significa un gasto adicional en la instalación del parque eólico. Además, los diferentes transformadores de tensión media deben estar adaptados exactamente a los requerimientos respectivos del parque eólico y de sus instalaciones de energía eólica, con lo que solamente con dificultad se pueden realizar modificaciones o complementos del parque eólico.

45 La invención tiene el cometido de indicar una compensación mejorada de los armónicos superiores para parques eólicos del tipo mencionado al principio.

La solución de acuerdo con la invención reside en las características de las reivindicaciones independientes. Los desarrollos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

50 En un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, que presentan, respectivamente, un rotor y un generador accionado por éste para la generación de energía eléctrica, y con una conexión eléctrica a través de la cual la energía eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica es conducida a un punto de conexión a la red y que presenta una red colectora, en la que están conectadas las instalaciones de energía eólica a través de transformadores de turbinas, en el que un primer grupo de instalaciones de energía eólica presenta una fase articulada al menos frente a otro grupo, están previstas las características indicadas en la parte de caracterización de la reivindicación 1.

55 La invención se basa en la idea de distribuir las instalaciones de energía eólica en grupos y en pivotar las fases de estos grupos por medio de transformadores pivotables unas con relación a las otras alrededor de un ángulo de articulación determinado, de manera que se compensa en la mayor medida posible un armónico superior reconocido

crítico. La invención aprovecha también el reconocimiento de que en el caso de varias instalaciones de energía eólica, los armónicos superiores solamente tienen que sumarse dentro de un grupo, mientras que los grupos pueden ser conectados de nuevo de tal manera que sus armónicos superiores se debilitan mutuamente. El debilitamiento no se puede conseguir, en efecto, sobre toda la banda de frecuencia, sino que de acuerdo con la invención la compensación, dicho con mayor exactitud, el ángulo de articulación, se calcula de tal manera que se compensa en la mayor medida posible el armónico superior más desfavorable para el parque eólico respectivo. El comportamiento de armónicos superiores importante para la consecución de un buen comportamiento de conexión en la red se puede optimizar de esta manera de forma selectiva. De este modo, en instalaciones de energía eólica no modificadas en sí, se puede reducir claramente el factor de conexión general efectivo del parque eólico por debajo del que correspondería en sí al tipo y número de las instalaciones de energía eólica del parque eólico. De esta manera, en condiciones dadas de conexión a la red se pueden prever parques eólicos mayores con más instalaciones de energía eólica (no modificadas). Puesto que las instalaciones de energía eólica no tienen que ser modificadas, sino que la reducción del armónico superior se consigue a través de la conexión de acuerdo con la invención en grupos de diferente fase y la determinación del ángulo de articulación de manera selectiva sobre el armónico superior crítico, apenas es necesario un gasto adicional. La invención consigue de esta manera no sólo un incremento económico de la potencia que se puede conectar a la red del parque eólico, sino que es especialmente adecuada también para el reequipamiento de parques eólicos existentes, por ejemplo en el marco de ampliaciones para la elevación de la potencia o de condiciones de conexión más precisas por parte del operador de la red. Precisamente esto último adquiere cada vez mayor importancia. Con una forma de realización especial de los transformadores pivotables se configura el reequipamiento especialmente sencillo y económico. La invención consigue de esta manera a través de una medida que parece sorprendentemente sencilla una pluralidad de ventajas de una vez, a saber, con respecto a una buena capacidad de diseño, gasto de fabricación reducido, capacidad de adaptación claramente mejorada a condiciones variables en el parque eólico y óptima capacidad de reequipamiento.

El número de los transformadores pivotables necesarios se puede reducir a menos que la pluralidad de los grupos y a pesar de todo se consigue un efecto de compensación máximo. De manera más conveniente, todas las instalaciones de energía eólica dentro de un grupo están pivotadas alrededor de un ángulo común. Entonces es suficiente un único transformador pivotable para el grupo, no teniendo que ser articulado un grupo, por decirlo así, como grupo cero. Es especialmente favorable prever, en el caso de tres o más grupos, dos tipos diferentes de transformadores pivotables, respectivamente, con ángulos de articulación opuestos de la misma magnitud.

La mayoría de las veces se pretende que sea suficiente un grupo lo más reducido posible de grupos. La determinación del ángulo de articulación depende, además de la ordenación del armónico superior crítico, que debe compensarse, del número de grupos. Esta interacción entre el número de los grupos y la ordenación del armónico superior a compensar es aprovechada por la invención. Si en un caso sencillo debe compensarse solamente un armónico superior como armónico superior crítico, entonces resulta el ángulo de articulación de 180 grados dividido por la ordenación de este armónico superior. Si, por ejemplo, debe reducirse el quinto armónico superior, entonces el módulo de compensación del armónico superior determina a partir del número de ordenación del armónico superior (aquí 5) y del número de los grupos (por ejemplo 2) un ángulo de articulación óptimo de 36 grados. En cambio, si deben reducirse varios armónicos superiores, entonces la invención prevé con ventaja una optimización. En el caso de armónicos superiores estrechamente agrupados (por ejemplo de la 5ª o 7ª ordenación), se determina para cada ángulo de articulación individual y se toma como ángulo de optimización óptimo un valor entre los dos ángulos umbrales individuales. Cuando los armónicos superiores están juntos, se calculan para cada armónico superior varios ángulos de articulación individuales posibles, y a partir de éstos se seleccionan en cada caso los que se encuentran más próximos entre sí, para compensar de una manera óptima los armónicos superiores en la banda correspondiente. Con ventaja se prevé a este respecto un módulo de compensación de los armónicos superiores asociado al maestro del parque eólico, en el que está implementado este tipo de procedimiento.

Para la distribución en grupos es importante que con un número más elevado de grupos se pueda conseguir una compensación mejorada y de banda más ancha. Una distribución sobre dos grupos es el caso más sencillo y es suficiente cuando es suficiente una compensación del armónico superior crítico a la altura de aproximadamente la mitad. Si en el armónico superior crítico es necesaria una compensación más elevada, debe seleccionarse el número de los grupos correspondientemente más elevado. Esto requiere, en efecto, un número más elevado de transformadores pivotables, pero esto no es perturbador, puesto que de acuerdo con la invención se posibilita un reequipamiento sin mucho gasto. Por lo tanto, el mérito de la invención es facilitar prácticamente la reducción teóricamente alcanzable del armónico superior y realizarla sin mucho gasto. Con ventaja, la invención prevé, además, que la asociación de las instalaciones de energía eólica a los grupos se realice dinámicamente. A tal fin, está previsto un módulo de compensación de la articulación.

De acuerdo con la invención, está previsto que esté previsto un maestro de parque eólico con un módulo de compensación de la articulación, que está configurado para conectar o desconectar instalaciones de energía eólica con diferente ángulo de articulación, para conseguir el ángulo de articulación deseado. En este caso, está prevista de manera más conveniente una instalación de regulación para el ángulo de articulación deseado. De esta manera, se puede prestar atención especial al caso en el que no todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico proporcionan igualmente energía eléctrica. Así, por ejemplo, algunas instalaciones de energía eólica pueden estar

5 averiadas. Si se averían una o varias instalaciones de energía eólica, entonces en el caso de un ángulo de articulación inalterado, no se da ya la compensación y se perturbaría la compensación del armónico superior. Un fallo no tiene que significar necesariamente un defecto mecánico de la instalación de energía eólica, sino que puede significar también que una instalación de energía eólica no se puede utilizar de manera correspondiente por falta de viento adecuado. Con el módulo de compensación de la articulación se consigue que se conecten de manera correspondiente instalaciones de energía eólica o que se desconecten en uno de los otros grupos, o se adapten de otra manera, como modificación del número de los grupos, de manera que como resultado se consigue de nuevo una compensación. Precisamente en el caso de parques eólicos extendidos con diferentes condiciones del viento, la utilidad práctica de tal asociación dinámica de grupos puede ser muy alta. Además, se eleva la seguridad contra fallo de la compensación realizada de acuerdo con la invención.

10 Por grupo se entiende una cantidad parcial de la instalación de energía eléctrica del parque eólico, que comprende al menos una instalación de energía eólica, pero no todas las instalaciones de energía eólica. Por otro grupo se entiende otra cantidad parcial de este tipo, de manera que cada instalación de energía eólica puede pertenecer solamente a un grupo.

15 Por separado se entiende en este caso que el transformador pivotable no está instalado junto con el transformador, a través del cual la instalación de energía eólica está conecta en la red colectora propia del parque. Normalmente, esta red colectora propia del parque es una red de tensión media, y que transformador que enlaza la instalación de energía eólica con ella ("transformador de turbina") es un transformador de tensión media.

20 Debido a la realización separada, es innecesaria la utilización de transformadores de tensión media especialmente adaptados. La invención separa la función de la elevación de la tensión de la función del desplazamiento de fases para la compensación de armónicos superiores. Esto posibilita un diseño selectivo y sin compromiso de los transformadores para su objetivo respectivo. Los transformadores pivotables pueden estar diseñados y fabricados gracias a la invención sólo con vistas al desplazamiento de fases deseado, sin que haya que tener en cuenta adicionalmente todavía una multiplicación de la tensión. La invención consigue de esta manera no sólo una mejora del comportamiento de armónicos superiores y, por lo tanto, del factor de conexión del parque eólico, sino que reduce, además, también todavía el gasto. Puesto que gracias a la disposición separada de los transformadores pivotables se posibilita utilizar transformadores de tensión media realizados convencionalmente, que están disponibles económicos en el mercado. A pesar de la realización separada de los transformadores pivotables, que parece más costosa a primera vista, la invención consigue de esta manera paradójicamente una reducción del gasto. Otra ventaja de la invención consiste en que con la realización separada de los transformadores pivotables se pueden realizar fácilmente modificaciones, por ejemplo en virtud de modificaciones en el parque eólico en virtud de la sustitución de instalaciones de energía eólica existentes, por otras de otra potencia o el empleo de instalaciones de energía eólica adicionales.

35 Es especialmente conveniente una forma de realización del transformador pivotable como transformador economizador. Por ello se entiende un transformador realización como circuito economizador. Esto posibilita una reducción esencial del tamaño de la construcción del transformador pivotable. El gasto de instalación y los costes de fabricación se reducen en una medida correspondiente. La invención abre de esta manera la posibilidad de reequipar instalaciones de energía eólica existentes y especialmente más pequeñas con gasto relativamente reducido. Esto posibilita enlazar las ventajas de una realización separada del transformador pivotable con la ventaja de enlazar transformadores economizadores con respecto a un tamaño de construcción esencialmente más pequeño. Esto no tiene precedentes en el estado de la técnica.

40 La disposición separada mencionada del transformador pivotable se refiere también al transformador, a través del cual la instalación de energía eólica respectiva cede su energía eléctrica. El transformador pivotable puede, aunque no necesariamente, estar dispuesto separado de la instalación de energía eólica, sobre la que actúa. Incluso es conveniente que el transformador pivotable esté dispuesto integrado en la instalación de energía eólica respectiva. Puede estar realizado como módulo, que está previsto o no según las necesidades en una instalación de energía eólica. Pero dado el caso también puede estar previsto integrar el transformador pivotable en el convertidor de la instalación de energía eólica respectiva. La disposición integrada tiene, además, la ventaja de que simplifica un reequipamiento de la instalación de energía eólica, puesto que no son necesarias modificaciones en la topología del parque y su red colectora junto con sus transformadores (de tensión media). A diferencia de los métodos conocidos a partir del estado de la técnica, la invención es especialmente adecuada, por lo tanto, para el reequipamiento de instalaciones de energía eólica y parques eólicos existentes.

45 Pero no es obligatorio que el transformador pivotable de acuerdo con la invención esté integrado en la instalación de energía eólica, También puede estar dispuesto como unidad separada propia en la red colectora del parque eólico. Tal disposición ofrece ventajas cuando se conecta un grupo de instalaciones de energía eólica dentro del parque eólico a través de una línea (de adaptación) propia en la red colectora. También en este caso se puede realizar con ventaja el transformador pivotable como transformador economizador.

50 Por último, también puede estar previsto integrar el transformador pivotable en un transformador de alta tensión,

- como se utiliza para la conexión en la red de suministro. Para conseguir la acción de compensación deseada, el transformador de alta tensión presenta a tal fin de manera más convenientes varias conexiones en el arrollamiento de tensión media, o están previstos varios transformadores de tensión media, en los que está conectada, respectivamente, una parte de las instalaciones de energía eólica del parque eólico. Tal disposición ofrece la ventaja de que solamente se necesitan pocos (en el caso límite uno) transformadores pivotables. El gasto para la compensación de los armónicos superiores se reduce de esta manera al mínimo.
- El transformador pivotable puede estar realizado sencillo, con preferencia en el circuito economizador ya mencionado. Esto no sólo reduce el gasto técnico de circuito y, por lo tanto, los costes, sino se reduce al mínimo también el espacio de construcción necesario (especialmente con relación a los transformadores de aislamiento previstos en el estado de la técnica). Pero también puede ser conveniente proveer el transformador pivotable con dos o más tomas. De esta manera se puede conseguir de una forma sencilla una modificación del ángulo de articulación, por ejemplo entre +15 y -15 así como +30 grados. Con una forma de construcción se pueden cubrir de esta manera diferentes requerimientos de los ángulos de articulación. De esta manera, con un gasto reducido se puede conseguir una aplicación casi universal o bien una adaptación casi universal.
- La invención se refiere, además, a un procedimiento para la conexión de instalaciones de energía eólica con las características de la reivindicación 15. Para la descripción más detallada del procedimiento se remite a las explicaciones anteriores.
- A continuación se explica la invención con la ayuda de ejemplos de realización ventajosos con referencia al dibujo adjunto. En este caso:
- La figura 1 muestra una representación de conjunto de un parque eólico de acuerdo con la invención.
- La figura 2 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica con un transformador pivotable.
- La figura 3 muestra ejemplos de las variantes de circuito del transformador pivotable.
- La figura 4 muestra una representación de detalle de la figura 3.
- Las figuras 5 a 7 muestran otras variantes de realización de la invención; y
- La figura 8 muestra una variante de conexión alternativa del transformador pivotable.
- La figura 9 muestra otro ejemplo de realización del transformador pivotable; y
- La figura 10 muestra un diagrama de armónicos superiores.
- Un ejemplo de realización para un parque eólico realizado de acuerdo con la invención se representa en la figura 1. El parque eólico comprende una pluralidad de instalaciones de energía eólica 1, que están dispuestas en grupos. Las instalaciones de energía eólica 1 están conectadas en una red colectora 2, que está realizada como una barra colectora de tensión media 29 con varias líneas de adaptación 21A, 21B, 21C. En cada línea de adaptación 21A-C está conectado un grupo de instalaciones de energía eólica 1. La barra colectora de tensión media 29 está conectada en un lado de baja tensión de un transformador de alta tensión 4, cuyo lado de alta tensión está conectado a través de un punto de conexión 9 con la red de alta tensión.
- Además, está previsto un maestro de parque eólico 3, que ejerce una regulación de orden superior para la instalación de energía eólica 1 del parque eólico. El maestro de parque eólico 3 está conectado a través de una red de línea de señales 30 separada (sólo se representa parcialmente) con los componentes del parque eólico.
- La estructura de las instalaciones de energía eólica 1 el parque eólico se representa de forma ejemplar en la figura 2. Sobre una torre 10 está dispuestas una casa de máquinas 11 pivotable en el plano azimutal, que recibe los componentes eléctricos esenciales de la instalación de energía eólica. En su lado frontal delantero, está dispuesto un rotor eólico 12 de forma giratoria. Éste acciona un generador 13 a través de un árbol de rotor (no representado). El generador 13 puede estar realizado como generador síncrono o generador asíncrono; con preferencia se trata de un generador asíncrono doble alimentado. Está conectado con su estator (no representado) directamente con líneas de conexión 19. Un rotor (no representado) del generador 13 está conectado en un convertidor 14, que está conectado de nuevo de la misma manera con las líneas de conexión 19. Las líneas de conexión 19 conducen hacia un transformador de tensión media 20 dispuesto en la base de la torre 10, que eleva la potencia eléctrica suministrada por la instalación de energía eólica desde una tensión de aproximadamente 700 voltios hasta un nivel de la tensión de aproximadamente 20 kV y la alimenta a la línea de adaptación 21A-C de la red colectora 2.
- Además, está previsto un transformador pivotable 5. Con preferencia, como se representa en la figura 2, está dispuesto en la casa de máquinas 11 de la instalación de energía eólica 1. Esto posibilita una conexión del transformador pivotable 5 inmediatamente después del convertidor 14. Pero no debe excluirse disponer el

transformador pivotable 5' en la línea de conexión 19. Además, de manera alternativa o adicional puede estar previsto disponer transformadores pivotables 5'' en el plano de la tensión media en la red colectora 2 y en concreto con preferencia en las líneas de adaptación 21A-C. Es conveniente una forma de realización de los transformadores pivotables 5 como transformador economizador. La figura 9 muestra de forma ejemplar un diagrama equivalente monofásico para un transformador economizador. En el circuito economizador representado allí, el arrollamiento primario 51' está conectado de tal forma que está conectado galvánicamente con el arrollamiento secundario 52. El arrollamiento primario 51' se utiliza de esta manera al mismo tiempo para el lado secundario.

Los diagramas eléctricos equivalentes para diferentes formas de realización posibles de los transformadores pivotables 5 se representan de forma ejemplar en la figura 3. Por razones de facilidad de la comprensión, se representan los diagramas eléctricos equivalentes para transformadores de aislamiento; se aplican de manera similar también para la forma de realización preferida como transformador economizador. Un elemento característico de los transformadores pivotables es que el arrollamiento primario y el arrollamiento secundario provocan un retardo de fases diferente. En el caso más sencillo, esto se puede realizar por que el transformador pivotable está realizado en el circuito de triángulo-estrella (ver la figura 3a). La articulación de las fases resulta en este caso fijamente a partir de la diferencia de la geometría. Para poder determinar el grado de la articulación de las fases, es ventajosa una forma de realización con un llamado arrollamiento de zig-zag, que colabora, por ejemplo, con un arrollamiento de triángulo (circuito de triángulo de zig-zag); ver la figura 3b. Esto se explica en detalle más adelante con relación a la figura 4. De manera alternativa, el transformador pivotable 5 puede estar realizado también en circuito de estrella de zig-zag (ver la figura 3c) o en circuito de zig-zag de estrella (ver la figura 3d).

El diagrama eléctrico equivalente para una forma de realización del transformador pivotable 5 en circuito de triángulo de zig-zag se representa en la figura 4. El transformador pivotable 5 comprende un arrollamiento primario 51 y un arrollamiento secundario 52. Este último está realizado en circuito de triángulo convencional y no es necesario explicarlo en detalle. El arrollamiento primario 51 está realizado en circuito de zig-zag. Comprende tantas derivaciones como fases están presentes. Cada derivación comprende un arrollamiento de trabajo 510 y un arrollamiento pivotable 512. Este último presenta un eje eléctrico que se desvía del arrollamiento de trabajo 510. Éste determina junto con la relación de las inductancias entre el arrollamiento de trabajo 510 y el arrollamiento pivotable 512 el grado del desplazamiento de fases.

La disposición representada en la figura 2 del transformador pivotable 5 en la instalación de energía eólica 1 propiamente dicha es una posibilidad de realización ventajosa, que es bien adecuada especialmente para el equipamiento posterior o el reequipamiento. No obstante, también se contemplan otras posibilidades para la disposición del transformador pivotable 5. Ejemplos de ellos se representan en las figuras 5 a 8. Puede estar previsto disponer uno o varios (en el ejemplo de realización dos) transformadores pivotables 5' como unidades separadas en o bien junto a la torre 10 de las instalaciones de energía eólica 1. Especialmente ventajosa es una distribución de las instalaciones de energía eólica 1 en tres grupos, siendo pivotado un primer grupo alrededor de la mitad del ángulo de articulación objetivo  $+X/2$  (derivación media en la figura 5), un segundo grupo alrededor de la mitad del ángulo objetivo negativo  $-X/2$  (derivación inferior) y un tercer grupo alrededor de un ángulo cero (derivación superior). Se entiende que para un ángulo cero se puede suprimir el transformador pivotable. Tal distribución ofrece la ventaja de que también en el caso de fallo o desconexión de un grupo, se prosigue la articulación de las fases al menos en extensión limitada, de manera que se consigue al menos parcialmente todavía la compensación de armónicos superiores pretendida. Tal distribución en grupos eleva, por lo tanto, la seguridad de funcionamiento del parque eólico. Evidentemente no está limitada a la disposición de los transformadores pivotables 5' en la instalación de energía eólica 1 propiamente dicha, sino que puede estar prevista exactamente igual en otra disposición de los transformadores pivotables 5 (como en la red colectora 2 o en el transformador de alta tensión 4).

También puede estar previsto disponer los transformadores pivotables 5'' en la red colectora 2 (ver la figura 6). A tal fin, de manera más conveniente están conectados en la zona de la transición entre las líneas de adaptación 21A-C y la barra colectora 29. Tal circuito es adecuado de la misma manera para una distribución en grupos y diferentes ángulos de articulación por grupos. De la misma manera, existe la posibilidad de integrar el transformador pivotable 5''' (ver la figura 7). Se entiende que para una articulación mutua el transformador de alta tensión 4 debe estar provisto a tal fin con dos o más conexiones de arrollamiento primario 41, 41' (pivotadas unas con relación a las otras) (figura 7a). Pero también puede estar previsto prever en lugar de un transformador de alta tensión 4 varios transformadores 4' más pequeños, que están asociados, respectivamente, a un grupo de instalaciones de energía eólica 1 (figura 7b). Esto último ofrece la ventaja de que se pueden utilizar componentes habituales en el mercado y, además, una seguridad funcional más elevada, puesto que en el caso de fallo de uno de los transformadores de alta tensión se posibilita al menos una continuación parcial del funcionamiento sobre los restantes transformadores de alta tensión.

Otras variantes de circuito para el transformador pivotable 5 se representan en las figuras 8 y 9. En la variante representada en la figura 8, están previstas varias tomas 511 en el arrollamiento de trabajo 510, en el que se puede disponer opcionalmente el arrollamiento pivotable 512. De esta manera, según la selección de la toma 511 se puede regular un ángulo de articulación diferente. Con tal transformador pivotable se puede conseguir una buena adaptación de la instalación de energía eólica 1 o bien de los parques eólicos. Puede estar previsto para todas las

instalaciones de energía eólica 1 el mismo transformar pivotable, que durante la puesta en servicio solamente tiene que ser conectado todavía de acuerdo con el ángulo de articulación deseado. Esta variante es especialmente adecuada para equipamiento posterior o reequipamiento. Opcionalmente puede estar previsto, además, conectar el arrollamiento de articulación 512 a través de una instalación de conmutación 513 en las tomas 511. Si la instalación de conmutación está realizada de manera conmutable en la carga en una manera conocida en sí (y, por lo tanto, no representada, el puede modificar el ángulo de articulación de esta manera en el funcionamiento en curso de un parque eólico. De esta manera, se abre la posibilidad de compensar un fallo de instalaciones de energía eólica 1 a través de la modificación correspondiente del ángulo de articulación.

La actividad de la invención se ilustra en la figura 10. Se muestra la densidad de la potencia normalizada S de los armónicos superiores, que son cedidos en el punto de conexión a una red de suministro 9 de 50Hz. En la figura 10a están formados dos grupos, que están pivotados relativamente entre sí en cada caso alrededor de 10, 20, 25 ó 30 grados. En la figura 10b están formados tres grupos, estando representados como ángulos de articulación de nuevo 10, 20, 25 ó 30 grados (ver las explicaciones anteriores con respecto a la figura 5). Se reconoce que a medida que se incrementa el número de grupos se consigue una compensación de armónicos superiores de banda más ancha.

El maestro de parquee eólico 3 está provisto con un módulo de compensación de la articulación 35 y con un módulo de compensación de armónicos superiores 37. El primero está configurado para mantener un ángulo de articulación predeterminado también cuando no todas las instalaciones de energía eólica 1 están en funcionamiento o se producen asimetrías por otros motivos entre los grupos 1A-C. Si fallasen, por ejemplo, en el grupo 1A una o varias instalaciones de energía eólica, entonces en una forma de realización según la figura 5, el ángulo de articulación se desplazaría hacia el segundo grupo 1B. La compensación de los armónicos superiores se perjudicaría de esta manera. El módulo de compensación de la articulación supervisa por medio de un monitor el estado de funcionamiento de las instalaciones de energía eólica 1, y en el caso de fallo reconocido, en caso necesario, desconecta instalaciones de energía eólica en otro grupo (en el ejemplo, desde el grupo 1B) desde la red o bien reduce su potencia. De esta manera se garantiza el equilibrio entre los diferentes grupos 1A-C. Para la regulación del ángulo de articulación predeterminado puede estar prevista una entrada de señales.

El módulo de compensación de armónicos superiores 37 está configurado a tal fin para determinar con la ayuda de los armónicos superiores a compensar el ángulo de articulación y para regularlo a través de la colaboración con el módulo de compensación de la articulación 35 y/o las instalaciones de conmutación 513 de los transformadores pivotables 5. De esta manera se puede predeterminar que deben compensarse el tercero y el séptimo armónicos superiores. Por medio de especificaciones de cálculo conocidas en sí, el módulo de compensación de armónicos superiores 37 determinar que con una distribución de las instalaciones de energía eólica 1 en tres grupos con un ángulo de articulación de 30 grados se puede conseguir una compensación óptima. El módulo de compensación 37 de armónicos superiores colabora con los transformadores pivotables 5, de tal manera que se ajustan según el grupo a +15 grados, -15 grados o 0 grados. De esta manera se consigue sin más la compensación deseada.

El módulo de compensación de armónicos superiores calcula el ángulo de articulación óptimo en un armónico superior crítico en dos grupos fácilmente a partir de una división de 180 grados por la ordenación el armónico superior crítico. En el caso de varios armónicos superiores críticos que se encuentra estrechamente adyacentes entre sí, se calcula un ángulo de articulación individual para cada uno de ellos. Si se trata, por ejemplo, de la 5ª y de la 7ª ordenación del armónico superior, en el caso de dos grupos resultan los ángulos de articulación individual de 36 y 25,7 grados, de donde se selecciona un óptimo intermedio de aproximadamente 30 grados. Si los armónicos superiores críticos no están estrechamente adyacentes entre sí, se calculan, respectivamente, varios ángulos de articulación individuales, es decir, 36 grados, 108 grados, etc. para la 5ª ordenación y 16,4 grados, 49,1 grados, etc. para la 11ª ordenación. En el caso más estrechamente adyacente, los ángulos de articulación individuales tienen 36 grados y 49,1 grados para la 5ª y la 11ª ordenación, respectivamente, por lo que se puede seleccionar el óptimo en esta zona (más en el extremo inferior con atenuación más fuerte de la 5ª ordenación y más en el extremo superior con amortiguación más fuerte deseada de la 11ª ordenación).

El número de los grupos se determina en colaboración con el módulo de compensación de la articulación. Si están comprendidas, por ejemplo, 30 instalaciones de energía eólica, entonces en el caso de dos grupos, se puede conseguir una compensación de la 5ª y 7ª ordenación en torno al 75% en total. Sin embargo, si falla un grupo, entonces resulta solamente una reducción en torno al 50 %. Por razones de previsión, este último valor debe utilizarse, por lo tanto, para el cálculo del factor de conexión. El cálculo de la optimización es proseguido por los módulos para tres grupos. Si todos los grupos están activos, resulta para la 5ª ordenación una compensación en torno al 78 % y para la 7ª ordenación incluso en torno al 82 %. Sin embargo, hay que tener en cuenta todavía diferentes escenarios para fallos de grupos. Si falla un grupo, en este caso resulta para la 5ª ordenación una compensación claramente empeorada entorno sólo todavía aproximadamente el 57 %, mientras que para la 7ª ordenación se compensa todavía apenas el 77 %. Sin embargo, si fallan dos grupos, de manera que sólo está activo todavía un grupo, resulta una reducción en torno al 67 %. Por lo tanto, el cálculo de optimización de como resultado que en el caso de tres grupos, en el caso más desfavorable hay que contar con una compensación del 57 %, mientras que para dos grupos resultan 50 %. La ganancia a través de la formación de un tercer grupo es, por lo tanto, sólo reducida y no justifica el gasto adicional. Pero el cálculo de optimización puede proporcionar otro

resultado cuando la 7ª ordenación es el armónico superior claramente crítico en comparación con la 5ª ordenación, puesto que en el caso de tres grupos, se puede conseguir siempre una reducción en torno al 67 %, en el caso de dos grupos sólo son 50 %. En este caso, puede merecer la pena una formación de tres grupos. En este ejemplo se ve que la determinación del ángulo de articulación y la distribución en grupos están en una interacción entre sí, que aprovecha la invención.

5

## REIVINDICACIONES

- 1.- Parque eólico con varias instalaciones de energía eólica (1), que presentan, respectivamente, un rotor (12), un generador (13) accionado por éste para la generación de energía eléctrica, y con una conexión eléctrica a través de la cual la energía eléctrica generada por las instalaciones de energía eólica (1) es conducida a un punto de conexión a la red (9) y que presenta una red colectora (2), en la que están conectadas las instalaciones de energía eólica (1) a través de transformadores de turbinas (20), en el que un primer grupo (1A) de instalaciones de energía eólica (1) presenta una fase articulada al menos frente a otro grupo (1B), caracterizado por que la conexión eléctrica para el primer grupo (1A) comprende al menos un transformador pivotable (5) separado, que proporciona la fase articulada con respecto al otro grupo (1B) alrededor de un ángulo de articulación deseado, y las instalaciones de energía eólica (1) están distribuidas sobre los grupos (1A, 1B) y el transformador pivotable (5) separado está configurado de tal forma que la fase articulada del primer grupo (1A) es compensadora con respecto a un armónico superior crítico predeterminable, en el que el módulo de compensación de la articulación (35) está configurado para conectar o desconectar las instalaciones de energía eólica (1) con diferente ángulo de articulación o para modificar el número de grupos para conseguir el ángulo de articulación deseado.
- 2.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que está prevista una instalación de regulación para el ángulo de articulación deseado.
- 3.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que está previsto un módulo de compensación del armónico superior (37), que está configurado para determinar el ángulo de articulación en función de la ordenación de los armónicos superiores críticos.
- 4.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que el módulo de compensación del armónico superior (37) está configurado, además, para realizar un cálculo de optimización en varios armónicos superiores críticos.
- 5.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, caracterizado por que el módulo de compensación de la articulación y el módulo de compensación del armónico superior (37) colaboran de tal manera que el número de los grupos (1A, 1B) a formar está determinado en función del ángulo de articulación determinado, del fallo de la instalación de energía eólica (1) individual y/o del régimen de trabajo de las instalaciones de energía eólica (1) individuales.
- 6.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador pivotable (5) esté dispuesto integrado en la instalación de energía eólica respectiva.
- 7.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador pivotable (5) está dispuesto integrado en la instalación de energía eólica (1) respectiva.
- 8.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que el transformador pivotable (5) está integrado en el convertidor (14) de la instalación de energía eólica (1) respectiva.
- 9.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador pivotable (5) está dispuesto como unidad propia en la red colectora (2) del parque eólico.
- 10.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador pivotable (5) está integrado en un transformador de alta tensión (4).
- 11.- Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que el transformador de alta tensión (4) presenta dos o más conexiones de arrollamiento primario (41, 41'), en las que está conectado, respectivamente, un grupo (1A, 1B) de las instalaciones de energía eólica (1) del parque eólico.
- 12.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador pivotable (5) presenta dos o más tomas (511) para diferentes ángulos de articulación.
- 13.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que cada grupo (1A, 1B) está conectado en una línea propia (21A, 21B).
- 14.- Parque eólico de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que están previstos dos transformadores pivotables (5) diferentes, respectivamente, con ángulos de articulación opuestos de la misma magnitud.
- 15.- Procedimiento para la conexión de instalaciones de energía eólica (1), que presentan, respectivamente, un rotor (12), un generador (13) accionado por éste para la generación de energía eléctrica, a través de transformadores de turbinas (20) en una red colectora (2), con las etapas:

- identificación de un armónico superior crítico,
- distribución de las instalaciones de energía eólica (1) en grupos (1A, 1B),
- determinación de un ángulo de articulación para uno de los grupos (1A), de tal manera que a través de las diferentes fases de los grupos (1A, 1B) se lleva a cabo una compensación selectiva del armónico superior crítico entre los grupos (1A, 1B), y
- generación del ángulo de articulación en el grupo (1A),

5 en el que las instalaciones de energía eólica (1) son conectadas o desconectadas con diferentes ángulos de articulación o se modifica el número de los grupos para conseguir el ángulo de articulación deseado.

10 16.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, caracterizado por que se determina el ángulo de articulación en función del número de los grupos 1A, 1B).

17.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15 ó 16, caracterizado porque se realiza el cálculo para el ángulo de articulación individual en varios armónicos superiores y un cálculo de la optimización para la determinación del ángulo de articulación.

15 18.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 15 a 17, caracterizado por que se determina el número de los grupos (1A, 1B) a formar en función del ángulo de articulación determinado, el fallo de la instalación de energía eólica (1) individual y/o el régimen de trabajo de las instalaciones de energía eólica (1) individuales.

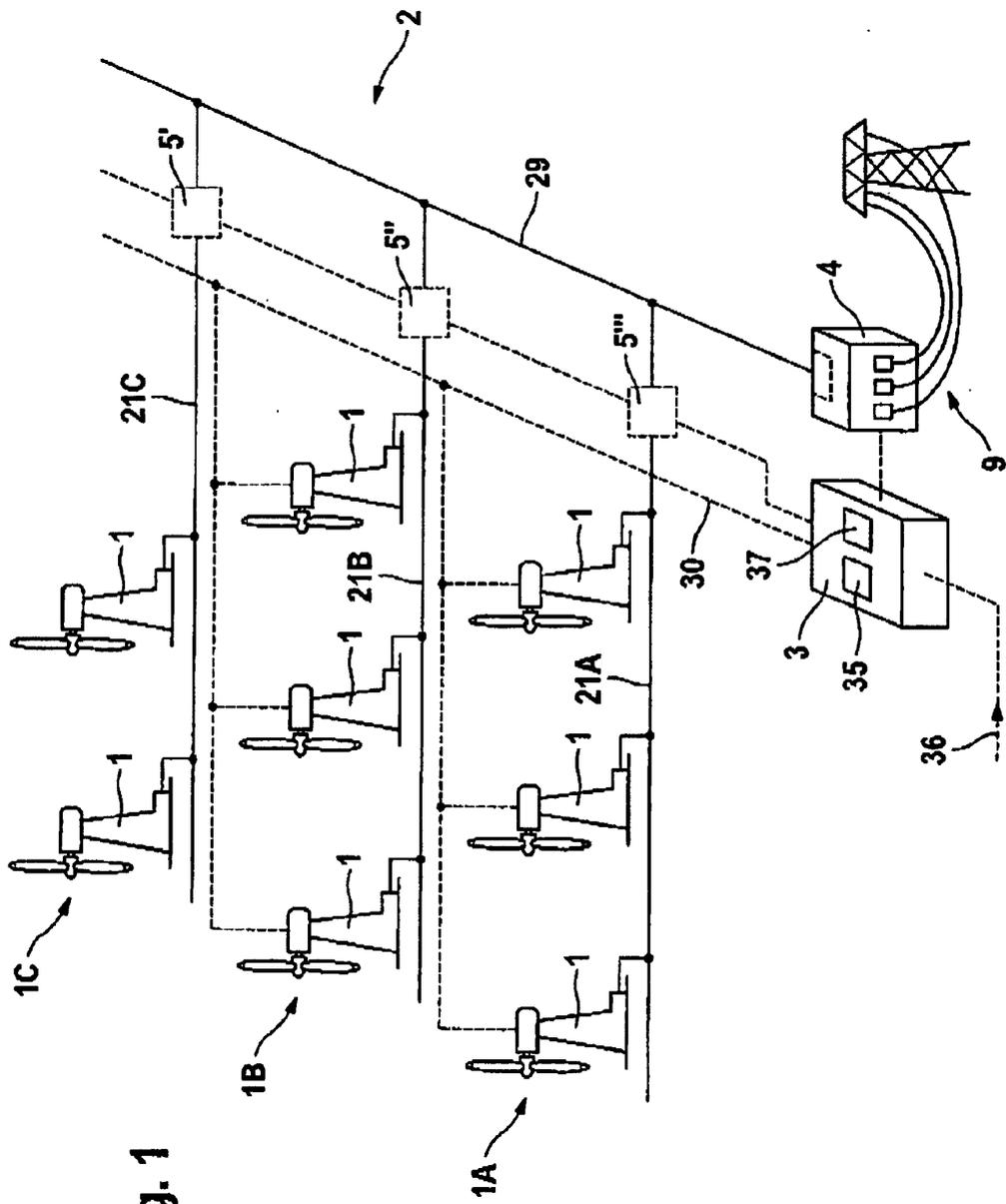
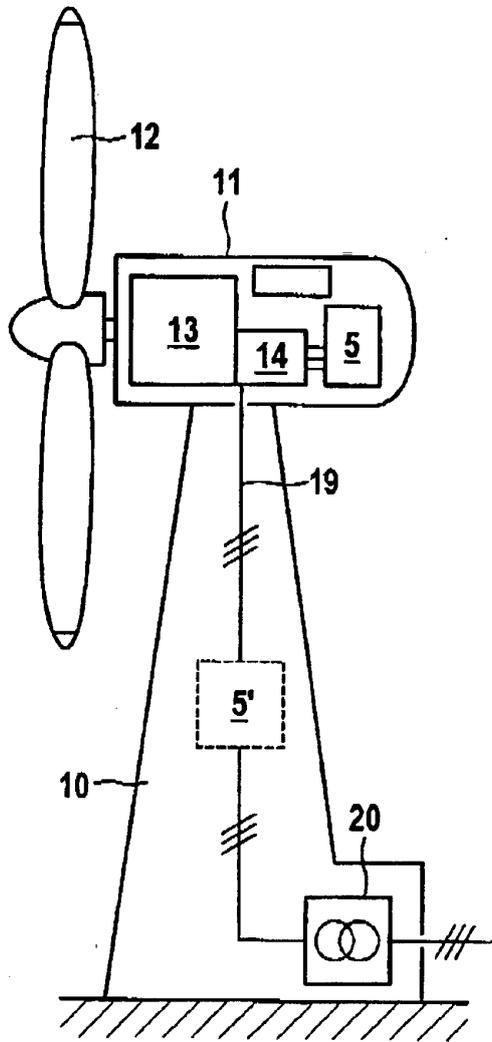
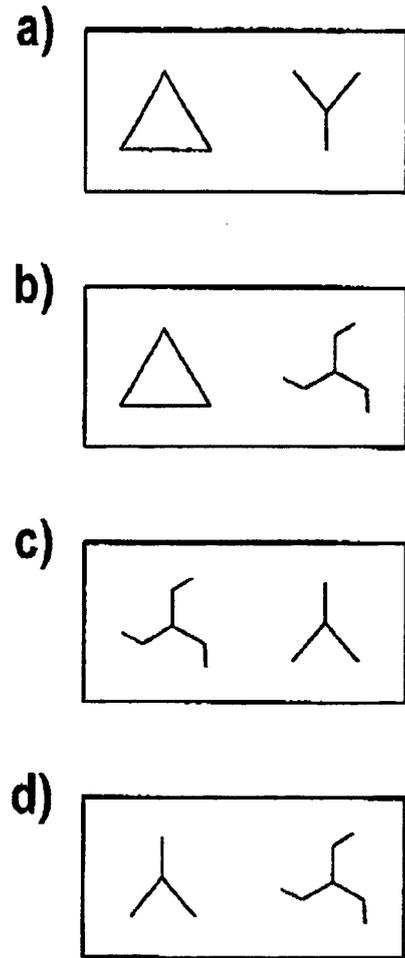


Fig. 1

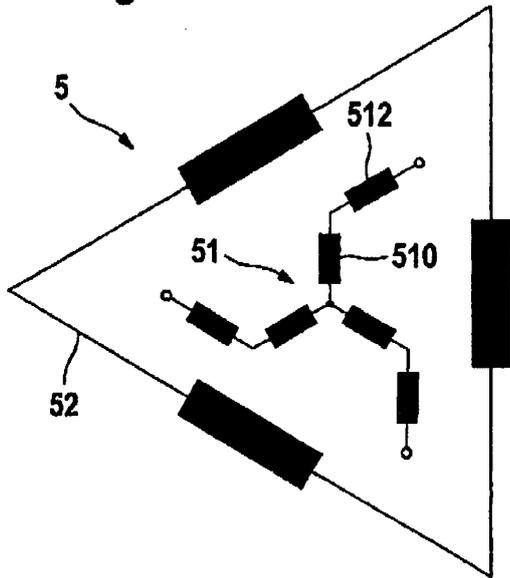
**Fig. 2**



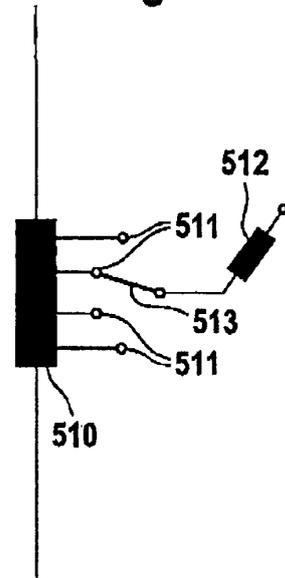
**Fig. 3**



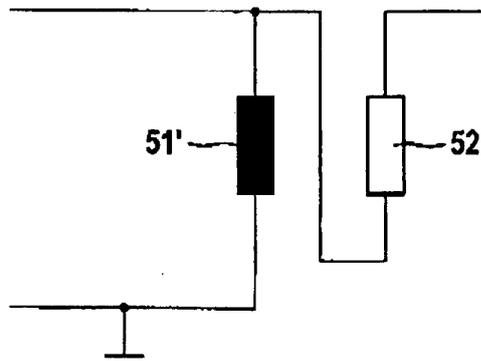
**Fig. 4**



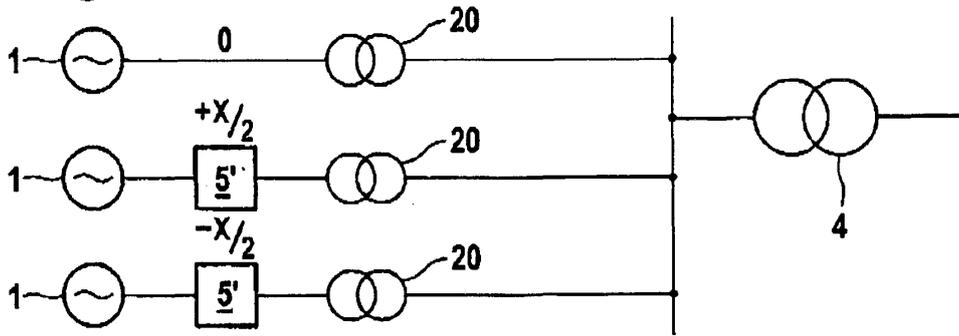
**Fig. 8**



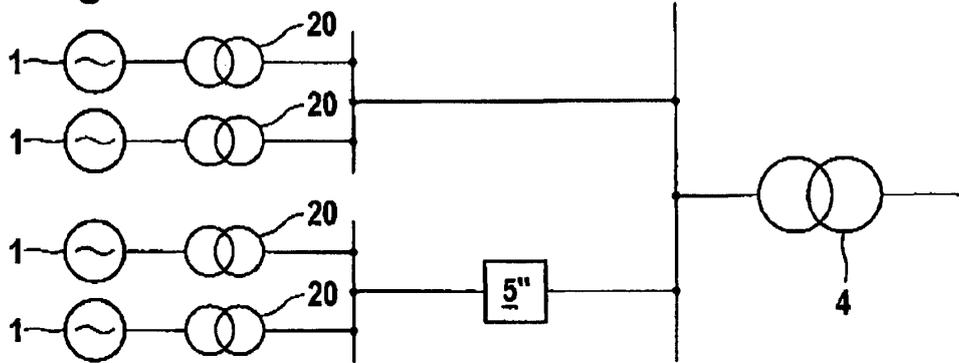
**Fig. 9**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**

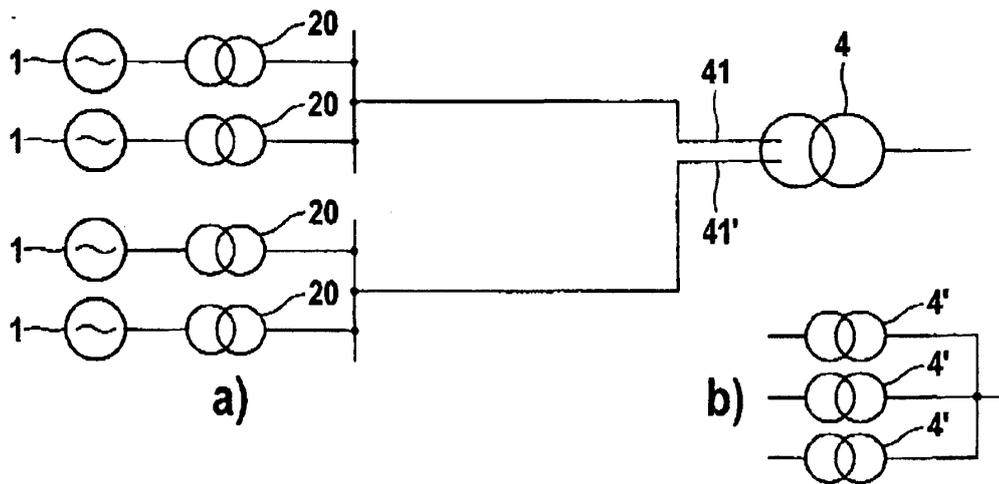


Fig. 10

