

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 020 086**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2021** **E 21184251 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2025** **EP 3937331**

54 Título: **Control de tensión en un transformador de turbina eólica con múltiples bobinados**

30 Prioridad:

10.07.2020 DK PA202070477

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
21.05.2025

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.00%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

NIELSEN, JOHN GODSK y
HANSEN, TORBEN MØLLER

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 3 020 086 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

Control de tensión en un transformador de turbina eólica con múltiples bobinados

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un método y a un sistema de control para hacer funcionar un sistema de potencia de una turbina eólica.

10 **Antecedentes de la invención**

La salida de potencia de una turbina eólica puede suministrar potencia a un sistema auxiliar de la turbina eólica. La tensión en la salida de potencia de la turbina eólica se ve afectada por la tensión de red de distribución. En algunas situaciones, la tensión de red de distribución puede aumentar conduciendo a una tensión aumentada en los terminales de salida de potencia de la turbina eólica. El circuito auxiliar, que está expuesto al mismo aumento de tensión, puede no estar dimensionado para funcionar con tensiones por encima de un determinado límite. Por consiguiente, supone un problema que la variación de tensión de red de distribución puede conducir a niveles de tensiones en los terminales de potencia del circuito auxiliar que superen el límite de tensión del circuito auxiliar o que son inferiores a un nivel de tensión deseado.

El documento US2013229056A1 da a conocer un sistema de equipo auxiliar que incluye al menos un bus de carga auxiliar configurado para recibir potencia eléctrica que tiene una tensión dentro de un primer intervalo de tolerancia de tensión. El sistema de equipo auxiliar también incluye al menos un conducto de suministro de potencia eléctrica acoplado a al menos una fuente de potencia eléctrica. El conducto de suministro de potencia eléctrica está configurado para transmitir potencia eléctrica que tiene una tensión dentro de un segundo intervalo de tolerancia de tensión. El segundo intervalo de tolerancia de tensión es mayor que el primer intervalo de tolerancia de tensión. El sistema de equipo auxiliar incluye además al menos un transformador en serie controlado acoplado al bus de carga auxiliar y al conducto de suministro de potencia eléctrica. El transformador en serie controlado está configurado para recibir potencia eléctrica que tiene una tensión dentro del segundo intervalo de tolerancia de tensión y transmitir potencia eléctrica que tiene una tensión dentro del primer intervalo de tolerancia de tensión.

El documento US2013162047A1 da a conocer una central eléctrica acoplada a, y configurada para proporcionar potencia a, una red de distribución eléctrica. La central eléctrica incluye una pluralidad de convertidores de potencia eléctricamente acoplados a, y configurados para recibir potencia a partir de, al menos una fuente de potencia. La central eléctrica también incluye un dispositivo de regulación de tensión eléctricamente acoplado entre los convertidores de potencia y la red de distribución eléctrica. El dispositivo de regulación de tensión incluye un transformador en serie y un convertidor bidireccional configurado para regular una tensión en una salida de los convertidores de potencia.

El documento US2013270823A1 da a conocer un método para proporcionar un funcionamiento normal de una turbina eólica durante acontecimientos de tensión inestable en una red de distribución de transmisión eléctrica usando un transformador ferromagnético. El método puede incluir proporcionar al menos un componente de turbina eólica auxiliar alimentado con potencia a través de un transformador ferromagnético. El método puede incluir además proporcionar una tensión de salida sustancialmente constante al/a los componente(s) auxiliar(es) conectado(s) al transformador ferromagnético en un caso de un pico de sobretensión en la red de distribución de transmisión eléctrica y proporcionar una tensión de salida sustancialmente constante durante un periodo de tiempo limitado al/a los componente(s) auxiliar(es) en un caso de una baja tensión en la red de distribución de transmisión eléctrica. El método puede incluir adicionalmente filtrar frecuencias armónicas perjudiciales a partir de la red de distribución de transmisión eléctrica durante un suministro de potencia a tensión normal.

El documento EP3046204A1 se refiere a una turbina eólica con componentes eléctricamente accionados, que comprende una energía eléctrica generada por un rotor para generar energía eléctrica, una línea de alimentación para alimentar energía eléctrica generada por el generador a una red de distribución, y una línea de suministro que está conectada a la línea de alimentación y diseñada para el suministro de potencia de componentes eléctricamente accionados de la turbina eólica. Con el fin de evitar sobrecargar los componentes en caso de sobretensión, la cadena de suministro comprende un dispositivo de conmutación rápida para los componentes eléctricamente accionados a partir de la línea de alimentación en el caso de una sobretensión en la línea de suministro, en el que el tiempo de conmutación del dispositivo de conmutación rápida es de menos de 10 ms. La invención también se refiere a un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas y a un método para hacer funcionar una turbina eólica o un parque eólico con componentes eléctricamente accionados, así como a un producto de programa informático que comprende partes de programa que están diseñadas para llevar a cabo el método de la invención.

Sumario de la invención

Un objetivo de la invención es mejorar turbinas eólicas, particularmente turbinas eólicas conectadas a la red de distribución de modo que pueden continuar funcionando a pesar de altas/bajas tensiones de red de distribución o de

modo que componentes de turbina eólica tales como componentes del circuito auxiliar no están expuestos a sobretensiones/subtensiones. La invención se define por las reivindicaciones independientes, se proporcionan realizaciones ventajosas por las reivindicaciones dependientes.

5 En un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para hacer funcionar un sistema de potencia de una turbina eólica, en el que el sistema de potencia comprende:

- un primer y segundo convertidores de CC a CA conectados en paralelo y

10 - al menos un transformador, en el que cada transformador comprende una sección primaria conectada a una línea de potencia, y en el que el al menos un transformador comprende una primera y segunda secciones secundarias conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos, de tal manera que la primera sección secundaria se conecta a la salida del primer convertidor de CC a CA, y la segunda sección secundaria se conecta a la salida del segundo convertidor de CC a CA, y la salida del primer convertidor de CC a CA, alternativamente el
15 segundo convertidor de CC a CA, está conectada a un sistema auxiliar de la turbina eólica,

el método comprende

- proporcionar una referencia de corrección reactiva,

20 - cambiar una primera y segunda potencias reactivas generadas por el primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos según la referencia de corrección reactiva, de modo que una de la primera y segunda potencias reactivas se aumenta mientras que la otra se reduce con cantidades correspondientes a la referencia de corrección reactiva de modo que la primera y segunda potencias reactivas son diferentes.

25 Ventajosamente, cambiando las magnitudes de primera y segunda potencias reactivas de manera diferente, posiblemente de modo que una de las potencias reactivas es capacitiva mientras que la otra es inductiva, es posible cambiar las tensiones en la entrada de la primera y segunda secciones de transformador secundarias de manera independiente, por ejemplo, con un objetivo de mantener una de las tensiones cerca de un nivel deseado.

30 Según una realización, el método comprende cambiar la primera y segunda potencias reactivas para alcanzar signos diferentes de la primera y segunda potencias reactivas. Ventajosamente, controlando las potencias reactivas de modo que una es inductiva y la otra es capacitiva, es posible hacer circular simplemente una cantidad de la potencia reactiva. Por ejemplo, si las magnitudes de las potencias reactivas son iguales, pero las potencias reactivas tienen signos
35 opuestos, la cantidad de potencia reactiva inyectada en la línea de potencia se aproxima a cero.

Según una realización, la referencia de corrección reactiva es una referencia determinada por usuario. Ventajosamente, la referencia de corrección reactiva puede establecerse a un nivel deseado, por ejemplo, con el propósito de generar cambios deseados en las potencias reactivas generadas, por ejemplo, con el propósito de
40 someter a prueba los convertidores de potencia que están expuestos a un nivel deseado de las potencias reactivas.

Según una realización, la referencia de corrección se determina basándose en una comparación de un nivel de tensión en una entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria, y una referencia de tensión para un nivel de tensión deseado en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la
45 segunda sección secundaria.

Ventajosamente, determinando la referencia de corrección según la referencia de tensión, la tensión en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria, puede controlarse con el objetivo de mantener la tensión cerca de la referencia.

50 Según una realización, el cambio de la primera y segunda potencias reactivas provoca un aumento del nivel de tensión en la entrada de la primera sección secundaria y una reducción del nivel de tensión en la entrada de la segunda sección secundaria, o viceversa.

55 Según una realización, el método comprende determinar una condición que indica una necesidad de cambiar el nivel de tensión en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria, hacia el nivel de tensión deseado en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria.

60 Según una realización, la condición se determina basándose en un cambio de tensión en la línea de potencia, o un cambio de tensión relacionado.

Por ejemplo, si la línea de potencia tensión aumenta, es posible contrarrestar el aumento relacionado en la entrada de la primera o segunda secciones secundarias controlando las potencias reactivas según una realización.

65 Según una realización, el método comprende cambiar una cantidad de potencia activa suministrada por el primer y/o

el segundo convertidor de CC a CA a la primera y segunda secciones de transformador secundarias dependiendo de la primera potencia reactiva y/o la segunda potencia reactiva.

Por ejemplo, ajustando las potencias activas hacia abajo, pueden aumentarse las potencias reactivas sin superar la capacidad de potencia aparente de los convertidores de potencia.

Según una realización, el cambio de la potencia activa del primer y/o el segundo convertidor de CC a CA se determina dependiendo de la primera y/o segunda potencia reactiva y una capacidad de potencia aparente de los convertidores de potencia de CC a CA.

Según una realización, el sistema de potencia comprende controladores dispuestos para controlar la primera y segunda potencias reactivas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos basándose en una primera y segunda referencias reactivas respectivas, y en el que el método comprende

- cambiar la primera y segunda referencias reactivas según la referencia de corrección reactiva, de modo que una de la primera y segunda referencias reactivas se aumenta mientras que la otra se reduce, provocando de ese modo el cambio de la primera y segunda potencias reactivas.

Según una realización, el al menos un transformador comprende un primer y segundo transformadores, en el que cada uno de los transformadores comprende una de las secciones primarias, en el que el primer transformador comprende la primera sección secundaria conectada a la salida del primer convertidor de CC a CA, y en el que el segundo transformador comprende la segunda sección secundaria conectada a la salida del segundo convertidor de CC a CA.

Según una realización, la primera y segunda secciones secundarias son secciones secundaria y terciaria, respectivamente, de un transformador de tres bobinados.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de control para un sistema de potencia de una turbina eólica que comprende un primer y segundo convertidores de CC a CA conectados en paralelo y al menos un transformador, en el que cada transformador comprende una sección primaria conectada a una línea de potencia, y en el que el al menos un transformador comprende una primera y segunda secciones secundarias conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos, de tal manera que la primera sección secundaria se conecta a la salida del primer convertidor de CC a CA y la segunda sección secundaria se conecta a la salida del segundo convertidor de CC a CA, y la salida del primer convertidor de CC a CA, alternativamente el segundo convertidor de CC a CA, está conectada a un sistema auxiliar de la turbina eólica, y en el que el sistema de control está dispuesto para realizar el método según el primer aspecto.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a una turbina eólica que comprende un sistema de control según el segundo aspecto.

En general, los diversos aspectos y realizaciones de la invención pueden combinarse y acoplarse de cualquier manera posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de, y se esclarecerán con referencia a, las realizaciones descritas a continuación en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que

la figura 1 muestra una turbina eólica,

la figura 2A muestra un ejemplo de un sistema de potencia de la turbina eólica,

la figura 2B muestra otro ejemplo del sistema de potencia, o una parte del sistema de potencia,

la figura 3A muestra la relación entre cambios en potencia reactiva y tensiones,

la figura 3B muestra fasores de corriente y fasores de tensión para ilustrar la invención,

la figura 4 muestra un efecto de generar una primera y segunda potencias reactivas que tienen signos diferentes, pero magnitudes iguales,

la figura 5A muestra un ejemplo de un controlador dispuesto para controlar el primer y segundo convertidores de CC a CA para cambiar una primera y segunda potencias reactivas,

la figura 5B muestra un ejemplo del controlador de tensión, y

la figura 6 muestra otro ejemplo del sistema de potencia.

Descripción de una realización

- 5 La figura 1 muestra una turbina eólica 100 (WTG) que comprende una torre 101 y un rotor 102 con al menos una pala de rotor 103, tal como tres palas. El rotor está conectado a una góndola 104 que está montada encima de la torre 101 y está adaptado para accionar un generador situado dentro de la góndola a través de un tren de accionamiento. El tren de accionamiento comprende el árbol que conecta el rotor 102 con la caja de engranajes o el generador. El rotor 102 puede hacerse rotar mediante acción del viento. La energía de rotación inducida por el viento de las palas de rotor 103 se transfiere a través de un árbol al generador. Por tanto, la turbina eólica 100 puede convertir energía cinética del viento en energía mecánica por medio de las palas de rotor y, posteriormente, en potencia eléctrica por medio del generador. El generador está conectado con un convertidor de potencia que comprende un convertidor de lado de generador y un convertidor de lado de línea. El convertidor de lado de generador convierte la potencia de CA de generador en potencia de CC y el convertidor de lado de línea convierte la potencia de CC en una potencia de CA para su inyección en la red de distribución de servicio público.
- 10 La figura 2A muestra un ejemplo de un sistema de potencia 200 de la turbina eólica 100 que comprende el generador 201 y un convertidor de potencia 202. El convertidor de potencia 202 comprende un convertidor de lado de generador 203 y un convertidor de lado de línea 204. La corriente CA de salida a partir del convertidor de lado de línea 204 se suministra a través de al menos un transformador de turbina eólica 208 a la línea de potencia 220. Por ejemplo, al menos un transformador comprende dos o más transformadores de dos bobinados conectados en paralelo. En otro ejemplo, el al menos un transformador comprende un transformador de tres bobinados.
- 15 La línea de potencia 220 puede ser una red de recogida de potencia de cable de media tensión que recibe potencia a partir de otras turbinas eólicas 100. En un ejemplo, la línea de potencia 220 puede estar conectada con una red de transmisión de alta tensión a través de un transformador adicional.
- 20 La figura 2B muestra otro ejemplo del sistema de potencia 200, o una parte del sistema de potencia 200. En este ejemplo, el convertidor de lado de línea 204 comprende un primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232, que están conectados en paralelo. La conexión en paralelo permite que los convertidores de CC a CA 231, 232 procesen una fracción, tal como el 50 %, de la potencia de salida total del convertidor de lado de línea. El primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 231 están conectados con el convertidor de lado de generador 203 que no se muestra en la figura 2B por conveniencia.
- 25 El al menos un transformador 208, en este caso un transformador de tres bobinados 208c, comprende una sección primaria Wpri conectada a la línea de potencia 220, y secciones secundaria y terciaria Wsec, Wter conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos. Por consiguiente, las secciones primaria, secundaria y terciaria están conectadas de manera inductiva.
- 30 El sistema de potencia según este ejemplo comprende además un primer y segundo filtros 251, 252, comprendiendo cada uno de ellos inductores de filtro y condensadores de filtro. Los filtros 251, 252 están dispuestos entre el primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232 y las secciones secundaria y terciaria Wsec, Wter, respectivamente, para proporcionar suavizado de forma de onda de las tensiones de salida del convertidor de lado de línea 204.
- 35 La salida del primer convertidor de CC a CA 231, alternativamente el segundo convertidor de CC a CA 232, está conectada a un sistema auxiliar 240. El sistema auxiliar comprende diversos consumidores de potencia de la turbina eólica, tales como sistemas de enfriamiento y calentamiento, accionadores de ajuste de paso, componentes del convertidor de potencia tales como sistemas de calentamiento de convertidor y otros consumidores eléctricos. El sistema auxiliar se alimenta con potencia mediante una pequeña fracción de la potencia proporcionada mediante el primer y segundo convertidores de CC a CA y/o las secciones de transformador secundaria o terciaria.
- 40 En algunas ubicaciones, requisitos de red de distribución permiten desviaciones mayores de la tensión de red de distribución con respecto a la tensión de red de distribución nominal que los requisitos de red de distribución en otras ubicaciones. Por ejemplo, pueden permitirse desviaciones de tensión en porcentaje de +/-15 % en algunas ubicaciones en lugar de desviaciones de +/-10 % por defecto.
- 45 En otras situaciones, la tensión de red de distribución puede extenderse más allá del intervalo de tensión en estado estacionario, por ejemplo, debido a un fallo de red de distribución.
- 50 En la figura 2B, la tensión de lado primario Upri corresponde a la tensión de red de distribución o es proporcional a la tensión de red de distribución. Por consiguiente, la tensión terciaria Uter está directamente relacionada con la tensión de lado primario Upri mediante la conexión de transformador.
- 55 El sistema auxiliar 240 puede estar diseñado para funcionar dentro de un intervalo de tensión dado y, por tanto, puede que no pueda funcionar en un intervalo extendido. Una manera posible de cambiar la tensión terciaria es inyectar o absorber una cantidad de potencia reactiva Qpri en la red de distribución y de ese modo controlar la tensión terciaria

Uter. Sin embargo, un intercambio de este tipo de la potencia de red de distribución reactiva Q_{pri} puede no estar permitido, por ejemplo, debido a requisitos de código de red de distribución.

La figura 3A muestra una situación en la que la tensión de red de distribución aumenta en t_1 , lo cual conduce a un aumento de la tensión de lado primario U_{pri} , y, por consiguiente, un aumento de las tensiones de lado secundario U_{sec} y U_{ter} correspondientes a la razón de transformador. Con el fin de limitar el aumento de U_{sec} y U_{ter} , el convertidor de lado de línea 204 se controla para absorber potencia reactiva Q_{pri} o para cambiar un nivel de potencia reactiva actual Q_{pri} . La absorción de potencia reactiva genera una caída de tensión a lo largo de los bobinados de lado secundario, reduciendo de ese modo las tensiones de lado secundario U_{sec} y U_{ter} con respecto a la tensión de lado primario U_{pri} .

De manera equivalente, en t_2 , la tensión de red de distribución disminuye, lo cual puede conducir a bajas tensiones de lado secundario U_{sec} y/o U_{ter} inaceptables. Con el fin de aumentar U_{sec} y/o U_{ter} , por ejemplo, de modo que las tensiones se mantengan dentro de un intervalo deseado, se controla el convertidor de lado de línea 204 para suministrar potencia reactiva Q_{pri} a la red de distribución. La inyección de potencia reactiva a la red de distribución genera una caída de tensión desde el lado secundario hasta el primario, aumentando de ese modo las tensiones de lado secundario U_{sec} y U_{ter} con respecto a la tensión de lado primario U_{pri} .

Por tanto, controlando el convertidor de lado de línea 204 para cambiar su absorción o inyección de potencia reactiva Q_{pri} , puede mantenerse el nivel de tensión de lado terciario U_{ter} dentro de un intervalo deseado, por ejemplo, cerca de 1 pu, siempre que no haya ninguna restricción en la potencia reactiva de lado primario Q_{pri} . Por consiguiente, si hay restricciones en la cantidad de potencia de red de distribución reactiva suministrada o absorbida, puede no ser posible mantener los niveles de tensión de lado secundario y/o terciario U_{sec}/U_{ter} dentro de un intervalo deseado.

La figura 3B muestra un ejemplo de fasores de corriente con las tensiones secundaria y terciaria alineadas con respecto al eje real (ilustración superior) y fasores de tensión con la tensión primaria alineada con respecto al eje real (ilustración inferior) para tensiones y corriente en los bobinados de transformador primario, secundario y terciario W_{pri} , W_{sec} , W_{ter} . Las magnitudes están por unidad para los lados de transformador primario, secundario y terciario.

La ilustración de fasores de corriente muestra que las corrientes secundaria y terciaria I_{sec} , I_{ter} comprenden componentes reactivas I_{sec_im} , I_{ter_im} de signos opuestos. Por tanto, una de la primera y segunda potencias reactivas Q_1 , Q_2 inyecta una cantidad de potencia reactiva en el transformador 208, mientras que la otra absorbe una cantidad de potencia reactiva. En este ejemplo, las cantidades de potencia reactiva absorbida e inyectada son de igual magnitud, lo que implica que la potencia reactiva I_{pri_im} suministrada a la red de distribución es de cero. Por consiguiente, las secciones de transformador secundaria y terciaria W_{sec} , W_{ter} hacen circular simplemente la potencia reactiva generada por el primer y segundo convertidores de CC a CA conectados en paralelo 231, 232.

La ilustración de fasores de tensión en la figura 3B muestra un ejemplo en el que la tensión terciaria está alineada con respecto al eje real. Las corrientes secundaria y terciaria I_{sec} , I_{ter} tienen componentes reactivas de signo diferente, pero de amplitudes diferentes. Debido a las amplitudes diferentes, sólo se hace circular una porción de la potencia reactiva en las secciones de transformador secundaria y terciaria W_{sec} , W_{ter} , mientras que una porción restante se absorbe por el transformador y se inyecta/absorbe por la red de distribución.

Las diferencias en el punto de consigna reactivo en las secciones de transformador secundaria y terciaria genera tensiones secundaria y terciaria U_{sec} , U_{ter} que tienen magnitudes diferentes.

En este ejemplo, el primer convertidor de CC a CA 231 suministra una potencia reactiva de modo que la corriente reactiva I_{sec_im} es negativa conduciendo a un aumento de la tensión secundaria U_{sec} . El segundo convertidor de CC a CA 232 absorbe potencia reactiva de modo que la corriente reactiva I_{ter_im} es positiva conduciendo a una reducción de la tensión terciaria U_{sec} , en comparación con una situación con potencia reactiva de cero.

Por consiguiente, haciendo circular una cantidad de potencia reactiva entre las secciones de transformador secundaria y terciaria, es posible obtener tensiones secundaria y terciaria U_{sec} , U_{ter} diferentes y controlar las magnitudes controlando la cantidad de potencia reactiva que se absorbe, respectivamente se suministra, por el primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232.

Se necesitará que la primera y segunda potencias reactivas tengan signos diferentes, es decir, de modo que una se inyecta en la red de distribución mientras que la otra se recibe a partir de la red de distribución, con el fin de hacer circular una cantidad de potencia reactiva entre los bobinados secundario y terciario W_{sec} , W_{ter} . Sin embargo, todavía es posible cambiar las tensiones secundaria y terciaria U_{sec} , U_{ter} de manera independiente una de otra, por ejemplo, para alcanzar tensiones diferentes, si la primera y segunda potencias reactivas tienen el mismo signo, pero se cambian de manera independiente, por ejemplo, para alcanzar potencias reactivas diferentes. Por ejemplo, la segunda potencia reactiva Q_2 puede aumentarse hasta un nivel positivo, que es mayor que la primera potencia reactiva positiva Q_1 , con el fin de mantener U_{ter} dentro de un intervalo de tensión.

Por tanto, cambiando la primera y segunda potencias reactivas Q_1 , Q_2 generadas por el primer y segundo

convertidores de CC a CA respectivos, puede aumentarse una de la primera y segunda potencias reactivas mientras que se reduce la otra con cantidades que son diferentes para cambiar las tensiones secundaria y terciaria U_{sec} , U_{ter} en niveles de tensión diferentes.

5 La figura 4 corresponde a la figura 2, pero muestra un efecto de generar una primera y segunda potencias reactivas Q_1 , Q_2 que tienen signos diferentes, pero magnitudes iguales. Una vez más, las magnitudes se muestran por unidades para los lados de transformador primario, secundario y terciario.

10 En t_1 , la tensión de red de distribución aumenta hasta un nivel que conducirá a un alto nivel de tensión terciaria U_{ter} inaceptable. Sin embargo, controlando el segundo convertidor de CC a CA 232 para absorber una cantidad dada de potencia reactiva Q_2 , es decir, Q_2 es negativa, y controlando el primer convertidor de CC a CA 231 para inyectar la misma o sustancialmente la misma cantidad de potencia reactiva Q_1 , es decir, Q_1 es positiva, puede mantenerse el nivel de tensión terciaria U_{ter} más cerca de 1 pu y dentro de un intervalo deseado de modo que el circuito auxiliar 240 no se ve expuesto a tensiones demasiado altas. La tensión secundaria U_{sec} se aumenta debido a la circulación de la potencia reactiva. Sin embargo, esto no supone un problema siempre que la tensión esté por debajo de un límite de tensión del primer convertidor de CC a CA 231.

20 La situación en t_2 muestra una situación correspondiente en la que se aumenta la tensión terciaria U_{ter} mientras que se reduce tensión secundaria U_{sec} aumentando la segunda potencia reactiva Q_2 hasta un nivel positivo y reduciendo la primera potencia reactiva Q_1 hasta un valor negativo.

25 La figura 5A muestra un ejemplo de un controlador 500 dispuesto para controlar el primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232 para cambiar primera y segunda potencias reactivas Q_1 , Q_2 generadas por el primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos según una referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$, de modo que una de la primera y segunda potencias reactivas se aumenta mientras que la otra se reduce con cantidades correspondientes a la referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ de modo que la primera y segunda potencias reactivas son diferentes y posiblemente tienen signos diferentes.

30 El controlador 500 comprende un controlador de tensión 501 que determina la referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ dependiendo de la tensión terciaria real U_{ter} y una referencia de tensión U_{ter_ref} .

35 El controlador 500 recibe referencias para potencias de red de distribución activa y reactiva, Q_{g_r} , P_{g_r} . Las referencias de potencia de red de distribución activa y reactiva se dividen entre dos para la determinación de referencias de potencia de convertidor activa y reactiva Q_1_ref , P_1_ref , Q_2_ref , P_2_ref para el primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232. La referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ se combina con la primera y segunda referencias de potencia de convertidor reactiva Q_1_ref , Q_2_ref , de modo que la referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ se añade a Q_1_ref y se resta de Q_2_ref , o viceversa.

40 Según este ejemplo, el error entre las referencias de convertidor Q_1_ref , P_1_ref , Q_2_ref , P_2_ref y la primera y segunda potencias reactivas y activas reales Q_1 , Q_2 , P_1 , P_2 se determinan y se suministran a los controladores de potencia reactiva y activa 502. Los controladores de potencia reactiva y activa 502 determinan referencias de corriente reactiva I_{ref_im} y referencias de corriente activa I_{ref_re} usadas por los controladores de corriente 503 en combinación con corrientes reactiva y activa reales I_{sec_im} , I_{sec_re} , I_{ter_im} , I_{ter_re} para determinar señales de control 504a, 504b para el primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232.

45 El controlador 500 puede diseñarse de otras maneras distintas de la ilustrada en la figura 5A.

50 La figura 5B muestra un ejemplo del controlador de tensión 501 en el que la diferencia de tensión entre la tensión terciaria real U_{ter} y la referencia de tensión terciaria U_{ter_ref} se expone a una función de banda muerta 521 de modo que la referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ sólo se determina si la diferencia de tensión supera umbrales inferior y superior definidos por la función de banda muerta 521. La referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ se determina mediante una función de control 522 tal como una función de control de PI.

55 La función de banda muerta 521 garantiza que se invoca el ajuste de la tensión terciaria U_{ter} en cuanto se supera un umbral de función de banda muerta.

60 El control del primer y segundo convertidores de CC-CA 231, 232 para generar potencias reactivas Q_1 , Q_2 diferentes puede invocarse por otras condiciones distintas de los umbrales de banda muerta, por ejemplo, basándose en un cambio de tensión en la línea de potencia 220, o un cambio de tensión relacionado. Por tanto, si la tensión en la línea de potencia 220 u otra tensión supera un umbral, la primera y segunda potencias reactivas Q_1 , Q_2 pueden controlarse para cambiar de modo que se cumple una condición tal como la referencia de tensión terciaria U_{ter_ref} .

65 Según una realización la referencia de corrección reactiva $Q_{refcorr}$ es una referencia determinada por usuario. Por consiguiente, $Q_{refcorr}$ puede establecerse de manera independiente de la tensión terciaria U_{ter} y la referencia de tensión U_{ter_ref} correspondiente. Por ejemplo, la referencia de corrección $Q_{refcorr}$ puede establecerse a un valor dado con el fin de generar una circulación de potencia reactiva deseada entre el primer y segundo convertidores de

CC a CA 231, 232. Por ejemplo, la potencia del primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232 puede someterse a una prueba de corriente completa, por ejemplo, con el fin de someter a prueba los convertidores de potencia en la producción la que no se permite que los convertidores intercambien una alta potencia reactiva con la red de distribución. Los convertidores de potencia 231, 232 se controlan para generar una potencia activa de cero, pero una potencia reactiva máxima. La carga de potencia reactiva máxima, en una situación con restricción de red de distribución para intercambiar potencia reactiva, puede lograrse haciendo circular corriente reactiva con una magnitud correspondiente a la capacidad de corriente máxima de los convertidores de potencia.

La capacidad de potencia del primer y segundo convertidores de potencia 231, 232 puede limitarse según una potencia aparente máxima, es decir, $S1 < S1_{\text{máx}}$ en la que $S1 = \text{SQRT}(Q1^2 + P1^2)$ (SQRT, traducido del inglés, *square root*, (raíz cuadrada)) para el primer convertidor de potencia de CC-CA 231, y de manera similar para la segunda potencia de CC-CA. Por consiguiente, si se aumenta la potencia reactiva $Q1$, $Q2$ para cualquiera del primer y segundo convertidores de CC a CA 231, 232 con el fin de mantener U_{ter} lo suficientemente cerca de 1 pu, puede necesitarse reducir la potencia aparente $S1$, $S2$ para cualquiera del primer y/o el segundo convertidores de CC a CA 231, 232 reduciendo la potencia activa $P1$, $P2$ del primer y/o el segundo convertidor de potencia de CC-CA 231, 232.

El cambio de la potencia activa $P1$, $P2$ del primer y/o el segundo convertidor de potencia de CC-CA 231, 232 puede restringirse de modo que tanto la primera como la segunda potencias activas $P1$, $P2$ se ajustan en la misma cantidad, es decir, tanto $P1$ como $P2$ se reducen.

El control de las potencias activas $P1$, $P2$ puede lograrse mediante una función de limitación (no mostrada) dispuesta para invocar una limitación de las potencias activas $P1$, $P2$ de modo que se cumplen condiciones de potencia aparente $S1_{\text{máx}} = \text{SQRT}(Q1_{\text{ref}}^2 + P1_{\text{ref}}^2)$ y $S2_{\text{máx}} = \text{SQRT}(Q2_{\text{ref}}^2 + P2_{\text{ref}}^2)$. Por consiguiente, el sistema de control 500 puede estar configurado para ajustar las referencias de potencia activa $P1_{\text{ref}}$, $P2_{\text{ref}}$ sometidas a las condiciones de potencia aparente $S1_{\text{máx}}$, $S2_{\text{máx}}$.

La figura 6 muestra otro ejemplo del sistema de potencia 200 que es equivalente al sistema en la figura 2B. En este ejemplo, el al menos un transformador 208 comprende dos transformadores de dos bobinados conectados en paralelo 208a, 208b. El primer transformador 208a comprende la primera sección secundaria W_{sec1} conectada a la salida del primer convertidor de CC a CA 231, y una primera sección primaria W_{pri1} conectada a la línea de potencia 220. El segundo transformador 208b comprende la segunda sección secundaria W_{sec2} conectada a la salida del segundo convertidor de CC a CA 232, y una segunda sección primaria W_{pri2} conectada a la línea de potencia 220. Por tanto, los terminales de salida de la primera y segunda secciones primarias W_{pri1} , W_{pri2} están conectados en paralelo a la línea de potencia 220.

Por tanto, las alternativas descritas del al menos un transformador 208 están configuradas con al menos una sección primaria W_{pri1} , W_{pri2} conectada a la línea de potencia 220, con una primera y segunda secciones secundarias W_{sec1} , W_{sec2} conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos. En el ejemplo con el transformador de tres bobinados, la primera y segunda secciones secundarias W_{sec1} , W_{sec2} se denominan secciones secundaria y terciaria W_{sec} , W_{ter} , respectivamente.

Por conveniencia, los ejemplos del transformador de tres bobinados se refieren a la tensión secundaria U_{sec} y la tensión terciaria U_{ter} para tensiones de transformador en las secciones secundaria y terciaria W_{sec} , W_{ter} , respectivamente. Los ejemplos del uso de dos transformadores de dos bobinados se refieren a la primera tensión secundaria U_{sec1} y la segunda tensión secundaria U_{sec2} en la primera y segunda secciones secundarias W_{sec1} , W_{sec2} , respectivamente.

Por tanto, U_{sec} corresponde a U_{sec1} , y U_{ter} corresponde a U_{sec2} .

La referencia de tensión $U_{\text{ter\_ref}}$ para el nivel de tensión deseado en la entrada de la sección secundaria W_{sec} , alternativamente la sección terciaria W_{ter} , es equivalente a la referencia de tensión $U_{\text{sec2\_ref}}$ para el nivel de tensión deseado en la entrada de la primera sección secundaria U_{sec1} , alternativamente la segunda sección secundaria U_{sec2} .

De manera similar, W_{sec} corresponde a W_{sec1} y W_{ter} corresponde a W_{sec2} .

REIVINDICACIONES

1. Un método para hacer funcionar un sistema de potencia de una turbina eólica, en el que el sistema de potencia comprende:
- un primer y segundo convertidores de CC a CA conectados en paralelo (231, 232) y
- al menos un transformador (208), en el que cada transformador comprende una sección primaria (Wpri) conectada a una línea de potencia (220), y en el que el al menos un transformador comprende una primera y segunda secciones secundarias (Wsec1, Wsec2) conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos, de tal manera que la primera sección secundaria (Wsec1) se conecta a la salida del primer convertidor de CC a CA (231) y la segunda sección secundaria (Wsec2) se conecta a la salida del segundo convertidor de CC a CA (232), y
la salida del primer convertidor de CC a CA (231), alternativamente el segundo convertidor de CC a CA (232), está conectada a un sistema auxiliar (240) de la turbina eólica, el método comprende
- proporcionar una referencia de corrección reactiva (Qrefcorr),
- cambiar una primera y segunda potencias reactivas (Q1, Q2) generadas por el primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos según la referencia de corrección reactiva (Qrefcorr), de modo que una de la primera y segunda potencias reactivas se aumenta mientras que la otra se reduce con cantidades correspondientes a la referencia de corrección reactiva (Qrefcorr) de modo que la primera y segunda potencias reactivas son diferentes.
2. Un método según la reivindicación 1, que comprende cambiar la primera y segunda potencias reactivas (Q1, Q2) para alcanzar signos diferentes de la primera y segunda potencias reactivas.
3. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la referencia de corrección reactiva (Qrefcorr) es una referencia determinada por usuario.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la referencia de corrección (Qrefcorr) se determina basándose en una comparación de un nivel de tensión (Usec2) en una entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria, y una referencia de tensión (Usec2_ref) para un nivel de tensión deseado en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria.
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cambio de la primera y segunda potencias reactivas (Q1, Q2) provoca un aumento del nivel de tensión (Usec1) en la entrada de la primera sección secundaria y una reducción del nivel de tensión (Usec2) en la entrada de la segunda sección secundaria, o viceversa.
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende determinar una condición que indica una necesidad de cambiar el nivel de tensión (Usec1, Usec2) en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria, hacia el nivel de tensión deseado (Uref_sec) en la entrada de la primera sección secundaria, alternativamente la segunda sección secundaria.
7. Un método según la reivindicación 6, en el que la condición se determina basándose en un cambio de tensión en la línea de potencia (220), o un cambio de tensión relacionado.
8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además cambiar una cantidad de potencia activa (P1, P2) suministrada por el primer y/o el segundo convertidor de CC a CA a la primera y segunda secciones de transformador secundarias dependiendo de la primera potencia reactiva (Q1) y/o la segunda potencia reactiva (Q2).
9. Un método según la reivindicación 8, en el que el cambio de la potencia activa (P1, P2) del primer y/o el segundo convertidor de CC a CA se determina dependiendo de la primera y/o segunda potencia reactiva (Q1, Q2) y una capacidad de potencia aparente de los convertidores de potencia de CC a CA.
10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de potencia comprende controladores (502, 503) dispuestos para controlar la primera y segunda potencias reactivas (Q1, Q2) del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos (231, 232) basándose en una primera y segunda referencias reactivas respectivas (Q1_ref, Q2_ref), y en el que el método comprende
- cambiar la primera y segunda referencias reactivas (Qref1, Qref2) según la referencia de corrección reactiva

(Qrefcorr), de modo que una de la primera y segunda referencias reactivas se aumenta mientras que la otra se reduce, provocando de ese modo el cambio de la primera y segunda potencias reactivas (Q1, Q2).

- 5 11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un transformador (208), comprende un primer y segundo transformadores (208a, 208b), en el que cada uno de los transformadores comprende una de las secciones primarias (Wpri), en el que el primer transformador (208a) comprende la primera sección secundaria (Wsec1) conectada a la salida del primer convertidor de CC a CA, y en el que el segundo transformador (208b) comprende la segunda sección secundaria (Wsec2) conectada a la salida del segundo convertidor de CC a CA.
- 10 12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que la primera y segunda secciones secundarias (Wsec1, Wsec2) son secciones secundaria y terciaria (Wsec, Wter), respectivamente, de un transformador de tres bobinados (208c).
- 15 13. Un sistema de control (500) para un sistema de potencia de una turbina eólica, que comprende un primer y segundo convertidores de CC a CA conectados en paralelo (231, 232) y al menos un transformador (208), en el que cada transformador comprende una sección primaria (Wpri) conectada a una línea de potencia (220), y en el que el al menos un transformador comprende una primera y segunda secciones secundarias (Wsec1, Wsec2) conectadas a salidas del primer y segundo convertidores de CC a CA respectivos, de tal manera que la primera sección secundaria (Wsec1) se conecta a la salida del primer convertidor de CC a CA (231) y la segunda sección secundaria (Wsec2) se conecta a la salida del segundo convertidor de CC a CA (232), y la salida del primer convertidor de CC a CA (231), alternativamente el segundo convertidor de CC a CA (232), está conectada a un sistema auxiliar (240) de la turbina eólica, y en el que el sistema de control está dispuesto para realizar el método según las reivindicaciones 1-12.
- 20 25 14. Una turbina eólica (100) que comprende un sistema de control (500) según la reivindicación 13.

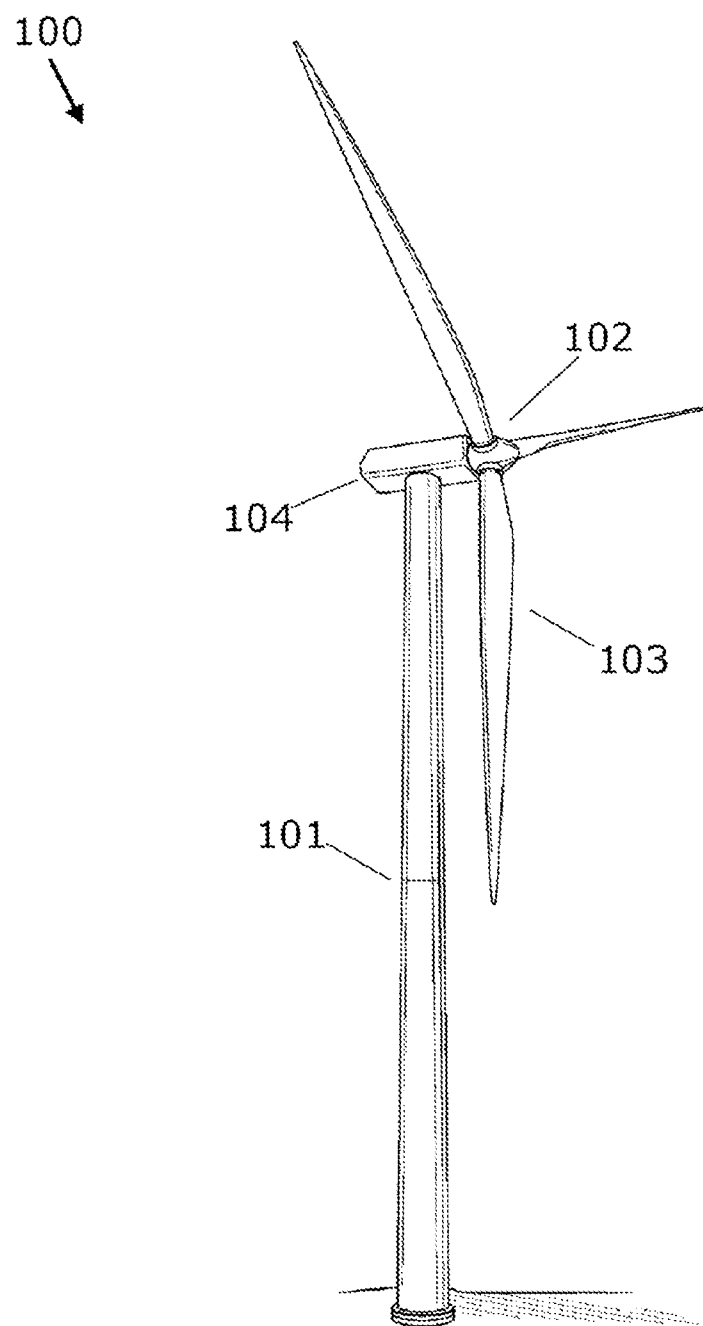


Fig. 1

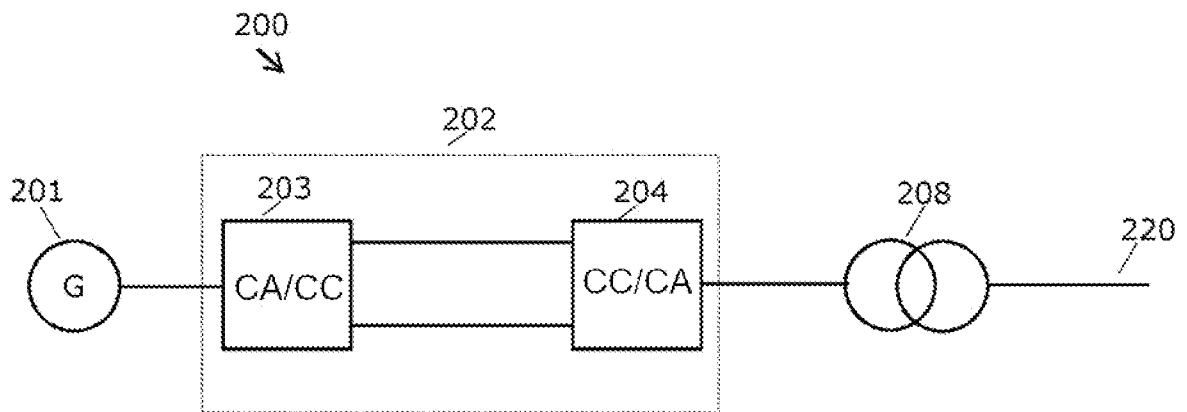


Fig. 2A

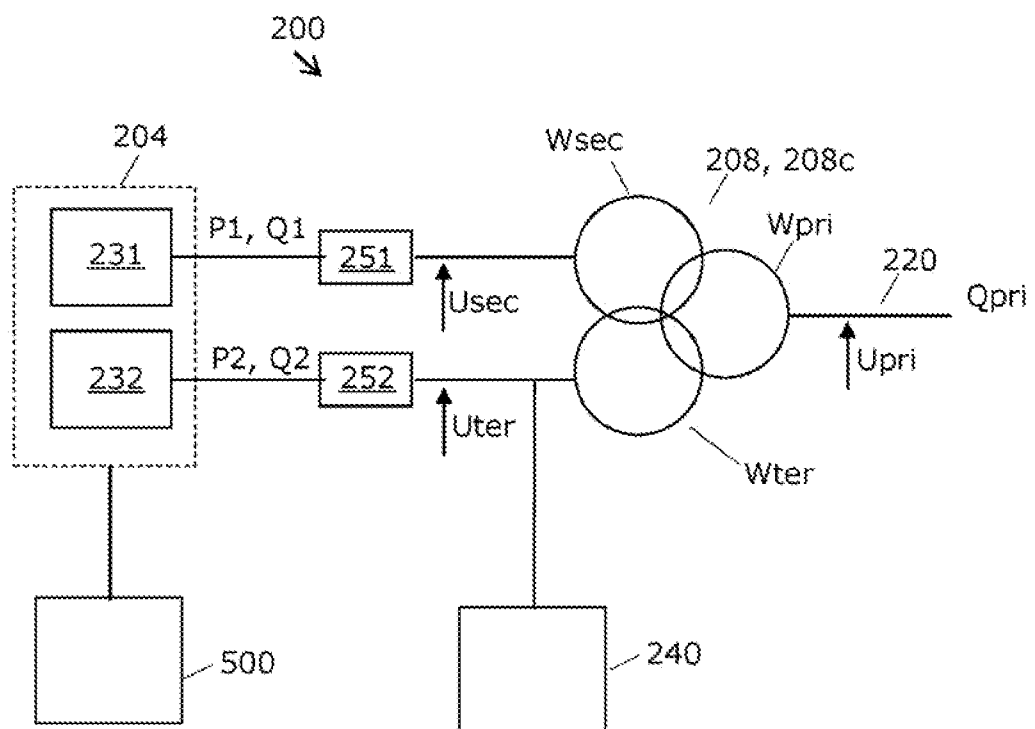


Fig. 2B

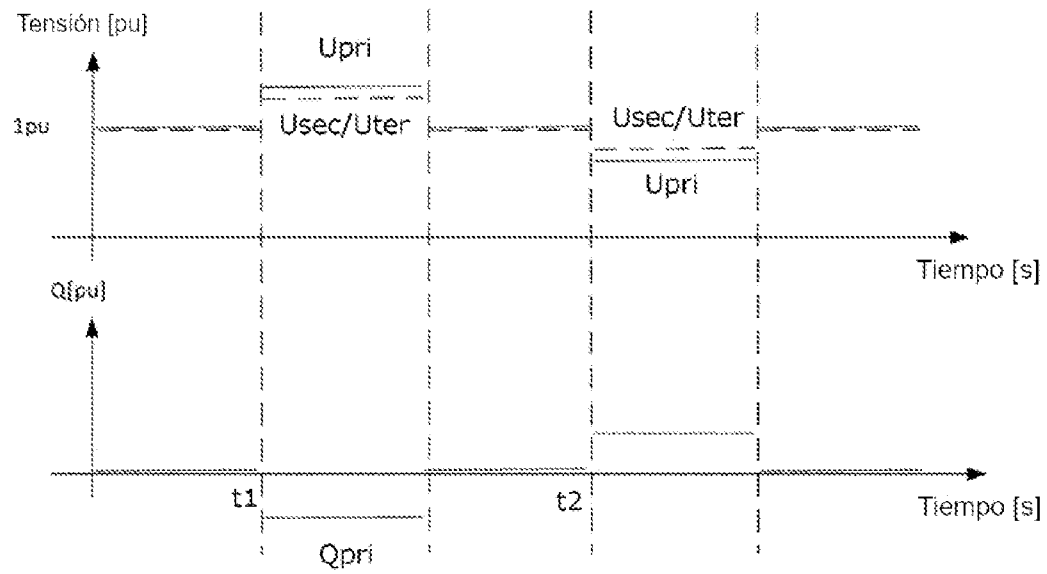


Fig. 3A

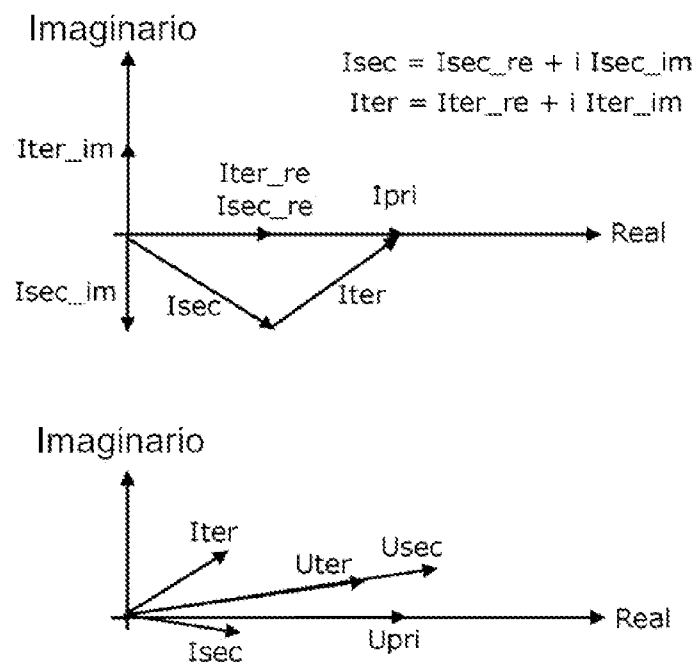


Fig. 3B

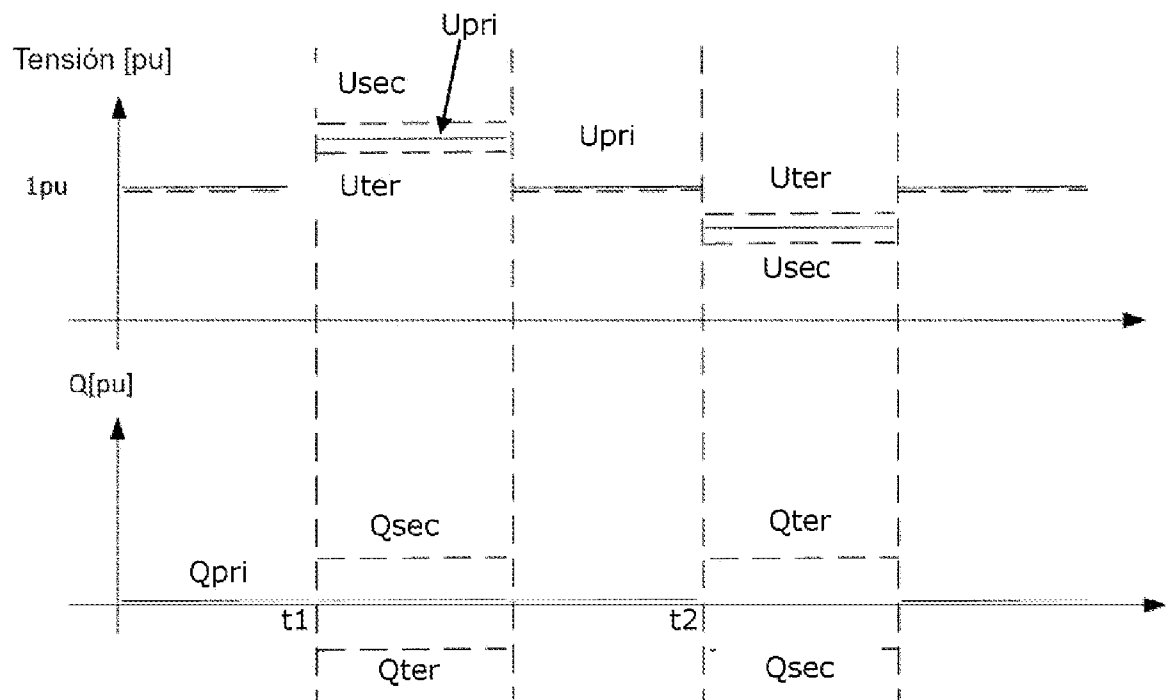


Fig. 4

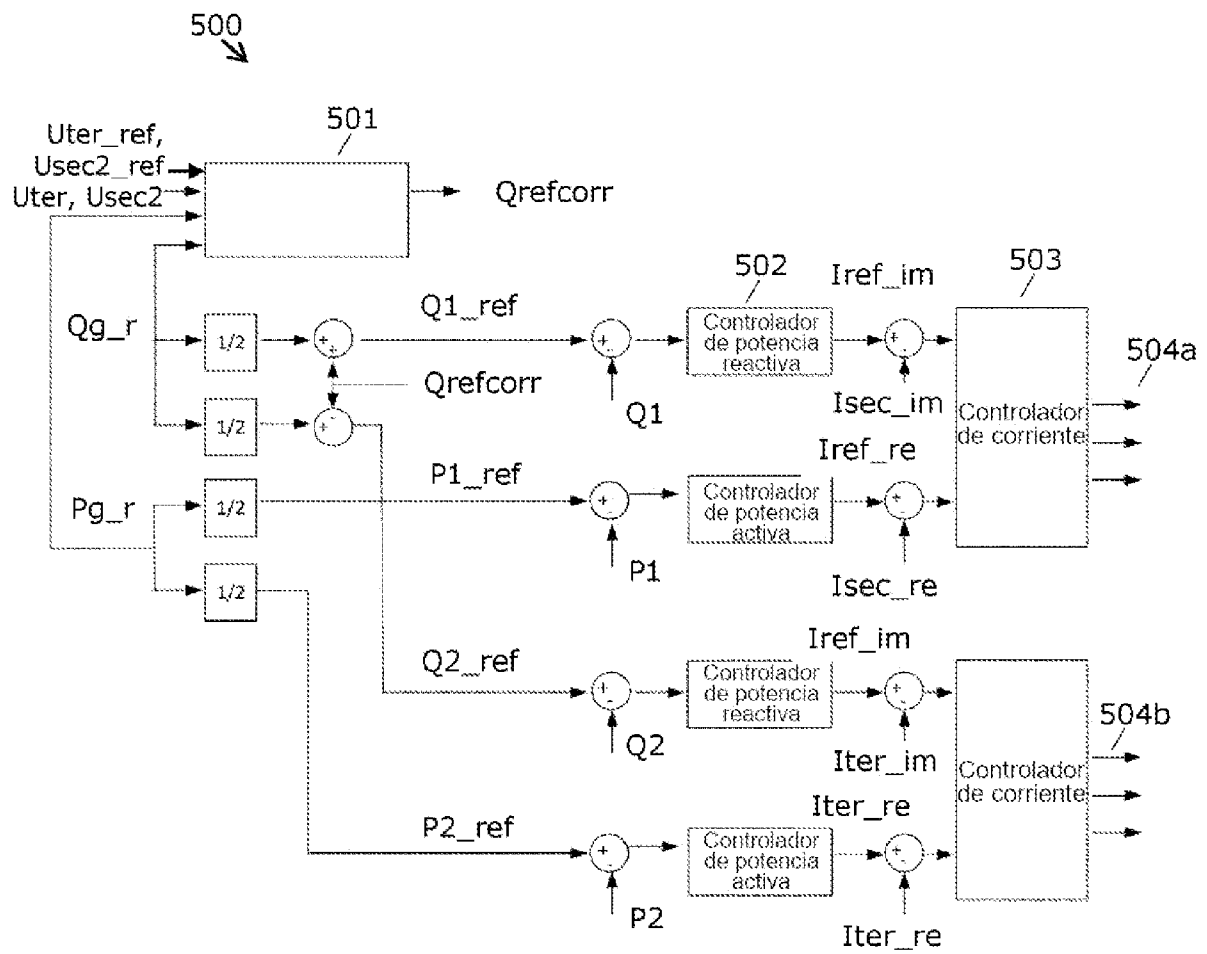


Fig. 5A

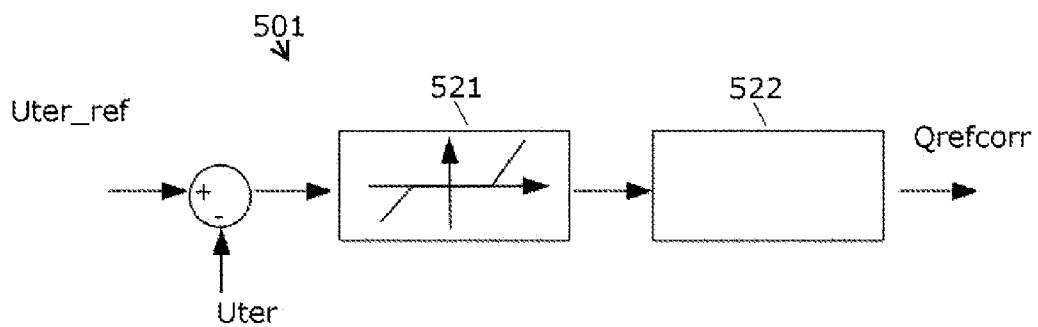


Fig. 5B

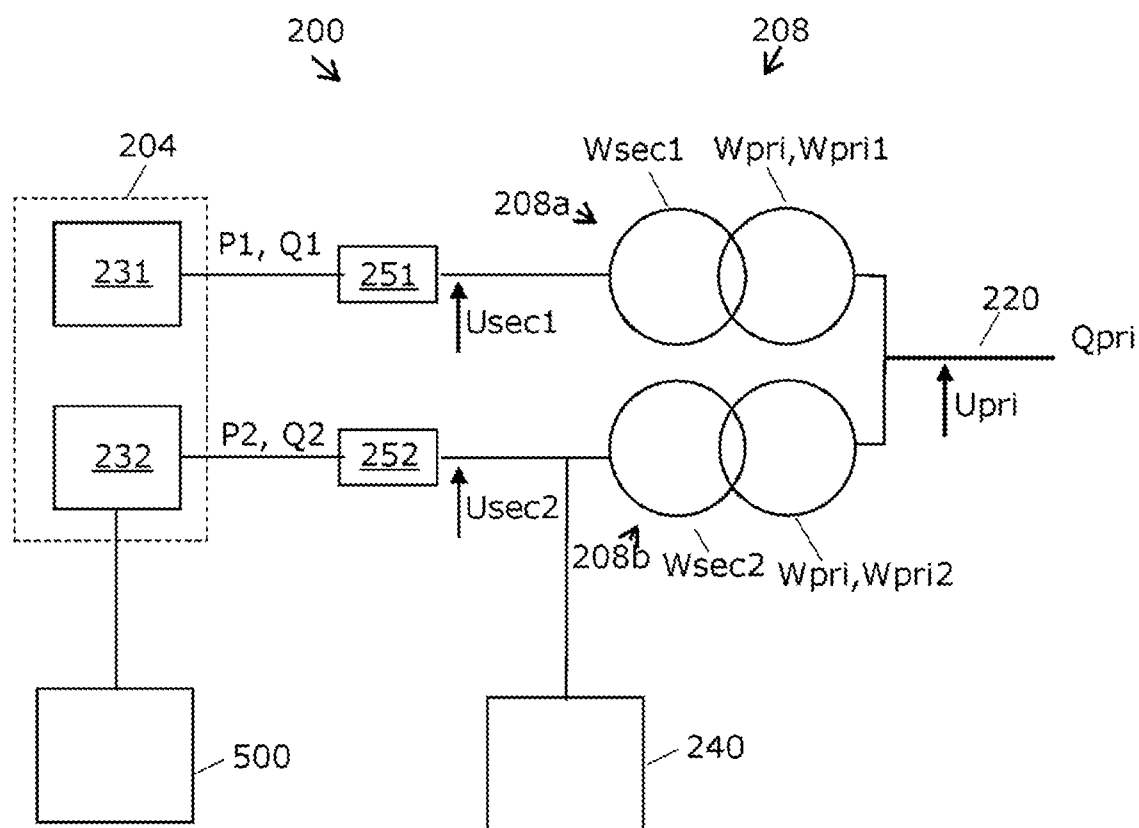


Fig. 6