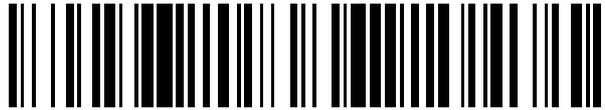


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 668**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

H02M 5/458 (2006.01)

H02M 7/06 (2006.01)

H02M 1/32 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2011 E 11804948 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.03.2016 EP 2655871**

54 Título: **Método de funcionamiento de una turbina eólica así como sistema adecuado para ello**

30 Prioridad:

23.12.2010 DK 201070581

23.12.2010 US 201061426543 P

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

14.04.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

GUPTA, AMIT KUMAR y

TRIPATHI, ANSHUMAN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 566 668 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

Método de funcionamiento de una turbina eólica así como sistema adecuado para ello

Antecedentes

5 La presente invención se refiere a un método de funcionamiento de una turbina eólica. Además, la presente invención se refiere a un sistema de control de funcionamiento de una turbina eólica. Finalmente, la presente invención se refiere a una turbina eólica.

10 En los últimos años, se ha convertido en un aspecto importante de la normativa de red de distribución manejar de manera apropiada la sobretensión que tiene lugar en redes de distribución eléctrica a las que están conectadas las turbinas eólicas. Es decir, las turbinas eólicas deberían poder permanecer conectadas a las redes de distribución eléctrica o tener capacidad de mantenimiento del funcionamiento incluso en caso de sobretensión de la red de distribución.

15 Las sobretensiones están acaparando la atención de propietarios de parques eólicos y fabricantes de turbinas eólicas debido a la gran cantidad de electrónica de potencia sensible en turbinas eólicas con convertidores de frecuencia. Los operadores de sistema de transmisión también están interesados en este fenómeno, dado que han tenido lugar situaciones en el sistema de conexión de red de distribución de parques eólicos en alta mar en las que los sistemas de aislamiento se han sometido a esfuerzos en situaciones que nunca se habían experimentado antes. Se han observado sobretensiones de hasta 2 p.u. En estos eventos, el disyuntor principal desconectó el cable del parque eólico en el punto de conexión en tierra y dejó el parque eólico en funcionamiento aislado con el cable y el transformador del parque eólico. Aunque tales eventos son raros, esto representa un riesgo de daño para los equipos. Por tanto, el operador de sistema de transmisión danés realizó investigaciones de tal sobretensión en relación con la planificación de nuevos parques eólicos en alta mar. Estas investigaciones han mostrado que los niveles de sobretensión se ven influidos por muchos parámetros, incluyendo características de funcionamiento de los generadores de turbina eólica (WTG) antes de la desconexión, sistemas de protección, control y la precisión de la representación del cable y los transformadores en el intervalo de frecuencia relevante.

25 Es deseable proporcionar métodos de mantenimiento del funcionamiento durante sobretensiones para turbinas eólicas que sean altamente eficaces y fáciles de implementar.

El documento EP1863162 da a conocer un método según el preámbulo de la reivindicación 1.

Sumario de la invención

30 Según una realización de la presente invención, se proporcionan un método de funcionamiento de una turbina eólica que comprende un generador eléctrico, un convertidor de lado de generador conectado al generador eléctrico, un convertidor de lado de línea conectado a una red de distribución eléctrica a través de componentes eléctricos, y un enlace de CC conectado entre el convertidor de lado de generador y el convertidor de lado de línea, comprendiendo el método: monitorizar las tensiones de red de distribución en la red de distribución eléctrica en busca de eventos de sobretensión; si se detecta un evento de sobretensión, hacer funcionar el convertidor de lado de línea en un intervalo de sobremodulación durante al menos una parte de la duración del evento de sobretensión.

Según una realización de la presente invención, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea se hace funcionar en una región no lineal que se extiende entre un extremo superior de un intervalo de modulación lineal y un funcionamiento de seis pasos.

40 Según una realización de la presente invención, en el intervalo de sobremodulación, el control de convertidor de lado de línea usa más del 90% y menos del 100% de la tensión de enlace de CC disponible.

45 Según una realización, las señales de referencia de corriente para control de corriente en el intervalo de modulación se modifican para generar una señal de referencia de corriente de línea basándose en al menos uno de lo siguiente: tensión de red de distribución, vector de tensión de referencia de convertidor, requisitos de inyección de corriente de red de distribución, requisito de potencia activa y requisito de potencia reactiva. La primera referencia de corriente de línea podría ser mayor que el régimen de corriente de convertidor nominal para permitir manejar una sobretensión durante un corto periodo de tiempo aunque se haga funcionar el convertidor a una corriente superior. La señal de referencia de corriente es, por ejemplo, sustancialmente una señal de corriente reactiva y una señal de corriente activa es, por ejemplo, sustancialmente igual a cero.

50 Según una realización de la presente invención, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea se hace funcionar usando control basado en vector.

Según una realización de la presente invención, el convertidor de lado de línea se hace funcionar usando control de corriente de PI compensado.

Según una realización de la presente invención, el método comprende además: obtener una señal de corriente de lado de línea indicativa de una corriente de línea que tiene lugar en los terminales de salida de un convertidor de

5 lado de línea conectado al transformador de red de distribución a través de componentes eléctricos; estimar una
 10 señal de componente de corriente armónica indicativa de una componente de corriente armónica presente en la
 corriente de línea; sustraer la señal de componente de corriente armónica estimada de la señal de corriente de línea
 obtenida para encontrar una segunda señal de corriente de línea que está sustancialmente libre de la componente
 de corriente armónica; determinar un error de corriente de línea entre la segunda señal de corriente de línea y una
 señal de referencia de corriente de línea que se genera dependiendo del evento de sobretensión detectado;
 controlar, basándose en el error de corriente de línea determinado, el convertidor de lado de línea de manera que se
 compense parcial o completamente el error de corriente de línea. El control de corriente propuesto puede realizarse
 tanto en un marco estacionario como en el marco giratorio. La señal de referencia de corriente de línea puede
 generarse mediante la modificación de señales de referencia de corriente para un control de corriente en intervalo de
 modulación tal como se describió anteriormente.

Según una realización de la presente invención, durante el intervalo de sobremodulación, las corrientes de
 convertidor de lado de línea son sustancialmente reactivas.

15 Según una realización de la presente invención, se proporcionan un sistema de funcionamiento de una turbina eólica
 que comprende un generador eléctrico, un convertidor de lado de generador conectado al generador eléctrico, un
 convertidor de lado de línea conectado a una red de distribución eléctrica a través de componentes eléctricos, y un
 enlace de CC conectado entre el convertidor de lado de generador y el convertidor de lado de línea, comprendiendo
 el sistema: una unidad de monitorización configurada para monitorizar tensiones de red de distribución en la red de
 20 distribución eléctrica en busca de eventos de sobretensión; una unidad de control conectada a la unidad de
 monitorización y configurada para controlar, si se detecta un evento de sobretensión, el funcionamiento del
 convertidor de lado de línea en un intervalo de sobremodulación durante al menos una parte de la duración del
 evento de sobretensión.

25 Según una realización de la presente invención, la unidad de control está configurada para controlar, durante el
 intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea para que funcione en una región no lineal que se
 extiende entre un extremo superior de un intervalo de modulación lineal y un funcionamiento de seis pasos.

Según una realización de la presente invención, la unidad de control está configurada para controlar, en el intervalo
 de sobremodulación, el convertidor de lado de línea de manera que el control de convertidor de lado de línea usa
 más del 90% y menos del 100% de la tensión de enlace de CC disponible.

30 Según una realización, el sistema comprende además una unidad de modificación configurada para modificar
 señales de referencia de corriente para generar una primera señal de referencia de corriente de línea basándose en
 al menos uno de lo siguiente: sobretensión de red de distribución, corriente de red de distribución, requisito de
 potencia activa y requisito de potencia reactiva.

Según una realización de la presente invención, la unidad de control está configurada para controlar, durante el
 intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea usando control basado en vector.

35 Según una realización de la presente invención, la unidad de control está configurada para controlar, durante el
 intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea usando control de corriente de PI compensado.

40 Según una realización de la presente invención, la unidad de control comprende: una unidad de obtención de señal
 de corriente de línea configurada para obtener una señal de corriente de línea indicativa de una corriente de línea
 que tiene lugar en los terminales de salida de un convertidor de lado de línea conectado al transformador de red de
 distribución a través de componentes eléctricos; una unidad de estimación de señal de componente de corriente
 armónica configurada para estimar una señal de componente de corriente armónica indicativa de una componente
 de corriente armónica presente en la corriente de línea; una unidad de sustracción configurada para sustraer la señal
 de componente de corriente armónica estimada de la señal de corriente de línea obtenida para encontrar una
 45 segunda señal de corriente de línea que está sustancialmente libre de la componente de corriente armónica; una
 unidad de determinación de error de corriente de línea configurada para determinar un error de corriente de línea
 entre la segunda señal de corriente de línea y una señal de referencia de corriente de línea que se genera
 dependiendo del evento de sobretensión detectado; en el que la unidad de control está configurada para controlar,
 basándose en el error de corriente de línea determinado, el convertidor de lado de línea de manera que se
 compense parcial o completamente el error de corriente de línea. La señal de referencia de corriente de línea puede
 50 ser la generada por la unidad de modificación tal como se describió anteriormente.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una turbina eólica que comprende un sistema según
 una cualquiera de las realizaciones anteriores.

Breve descripción de los dibujos

55 En los dibujos, caracteres de referencia similares se refieren generalmente a las mismas partes a lo largo de las
 diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, sino que en cambio se hace hincapié en general en
 ilustrar los principios de la invención. En la siguiente descripción, se describen diversas realizaciones de la invención
 con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

- la figura 1 muestra un dibujo esquemático de una turbina eólica según una realización de la presente invención;
- la figura 2 muestra un dibujo esquemático de un sistema de tren de accionamiento usado para hacer funcionar un generador de turbina eólica convencional;
- 5 la figura 3 muestra un diagrama vectorial que ilustra el caso en que se absorbe potencia reactiva a través del convertidor CC/CA para una sobretensión leve;
- la figura 4 muestra un diagrama vectorial que ilustra el caso en que se absorbe potencia reactiva a través del convertidor CC/CA para una sobretensión máxima que puede manejarse de este modo;
- la figura 5 muestra un diagrama vectorial que ilustra el caso de un evento de sobretensión que no puede manejarse absorbiendo potencia reactiva a través del convertidor CC/CA;
- 10 la figura 6 muestra un sistema de control de convertidor para el tren de accionamiento de turbina eólica según una realización de la presente invención;
- la figura 7 muestra un gráfico que ilustra la región de modulación lineal y el intervalo de sobremodulación a través de variar el índice de modulación con tensión de salida fundamental de convertidor;
- la figura 8a ilustra el principio de modulación de espacio vectorial en el intervalo de modulación lineal;
- 15 la figura 8b muestra los tiempos de funcionamiento y estados de conmutación de los conmutadores del convertidor CC/CA correspondientes al vector de referencia mostrado en la figura 8a;
- la figura 9 ilustra el funcionamiento de un convertidor CC/CA en el intervalo de sobremodulación;
- las figuras 10a a 10d muestran formas de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor a modo de ejemplo en el intervalo lineal y de sobremodulación;
- 20 la figura 11 muestra un sistema de control 1100 según una realización de la presente invención;
- la figura 12a ilustra la generación de una referencia de corriente según una realización de la presente invención;
- la figura 12b ilustra la modificación de la referencia de corriente según una realización de la presente invención;
- la figura 13 muestra un sistema de control según una realización de la presente invención;
- la figura 14 muestra un sistema de control según una realización de la presente invención;
- 25 la figura 15 muestra un sistema de control según una realización de la presente invención.

Descripción

- La siguiente descripción detallada se refiere a los dibujos adjuntos que muestran, a modo de ilustración, detalles y realizaciones específicos en los que la invención puede llevarse a la práctica. Estas realizaciones se describen con suficiente detalle para permitir a los expertos en la técnica llevar a la práctica la invención. Pueden utilizarse otras realizaciones y pueden realizarse cambios estructurales, lógicos y eléctricos sin apartarse del alcance de la invención. Las diversas realizaciones no son necesariamente exclusivas entre sí, ya que algunas realizaciones pueden combinarse con una o más realizaciones distintas para formar nuevas realizaciones.
- 30 La figura 1 ilustra una configuración común de una turbina eólica 100 que puede usar el método/sistema de la invención tal como se describe a continuación. La turbina eólica 100 está montada sobre una base 102. La turbina eólica 100 incluye una torre 104 que tiene varias secciones de torre. Una góndola de turbina eólica 106 está situada encima de la torre 104. El rotor de turbina eólica incluye un buje 108 y al menos una pala de rotor 110, por ejemplo tres palas de rotor 110. Las palas de rotor 110 están conectadas al buje 108 que a su vez está conectado a la góndola 106 a través de un árbol de baja velocidad que se extiende hasta salir de la parte frontal de la góndola 106.
- 35 La figura 2 muestra un dibujo esquemático de un sistema de control 200 usado para controlar el funcionamiento de una turbina eólica convencional. La turbina eólica comprende un generador 202, un convertidor CA/CC (de lado de generador o de máquina) 204, un convertidor CC/AC (lado de línea o línea o red de distribución) 206, y un enlace de CC 208 conectado entre el convertidor CA/CC 204 y el convertidor CC/CA 206. Los terminales de salida del generador 202 están conectados a terminales de entrada del convertidor CA/CC 204. Un primer extremo del enlace de CC 208 está conectado a los terminales de salida del convertidor CA/CC 204, y el extremo opuesto del enlace de CC 208 está conectado a terminales de entrada del convertidor CC/CA 206. El enlace de CC 208 comprende un condensador de enlace de CC 210 así como una resistencia de enlace de CC 212 (también conocida como resistencia de variación extrema de carga (*load-dump*) o resistencia de regulación (*chopper*)). La resistencia de enlace de CC 212 puede activarse/desactivarse (conectarse entre dos brazos del enlace de CC 208 o desconectarse del mismo) a través de un conmutador 214. El conmutador 214 es un conmutador electrónico de potencia según una realización. Los terminales de salida de convertidor CC/CA 206 están conectados a través de
- 40
- 45
- 50

una línea eléctrica 215 que incluye bobinas de autoinductancia/choque 216 a un transformador de red de distribución 218. Un sistema de filtro 220 para eliminar mediante filtrado armónicos de conmutación está conectado a la línea eléctrica 215. El sistema de filtro también puede contener una rama de amortiguación de resonancia (no mostrada) para evitar el fenómeno de la resonancia.

- 5 Durante el funcionamiento normal, el conmutador 214 está abierto y fluye potencia activa desde el generador eléctrico a través del convertidor de lado de línea, el convertidor de lado de máquina y el transformador de red de distribución a la red de distribución eléctrica. Ambos convertidores están conmutando (es decir están en funcionamiento activo). Dependiendo del algoritmo de control que está usándose para controlar los convertidores y los regímenes de hardware de convertidor, pueden soportar algo de sobretensión de red de distribución por ejemplo 1,1-1,25 p.u. Las sobretensiones de red de distribución pueden manejarse absorbiendo potencia reactiva tal como se describirá en la figura 3. Sin embargo, existe una tensión máxima $u_{c(max)}$ tras la cual el convertidor ya no puede controlarse para manejar la sobretensión de red de distribución tal como se describirá con la figura 4. A esta tensión máxima $u_{c(max)}$, todos los condensadores de tensión y corriente de convertidor se usan para absorber la potencia reactiva máxima.
- 10
- 15 En una condición normal, si la tensión de red de distribución es mayor que la que puede manejar un convertidor de lado de línea puede empezar a cargar el enlace de CC a través del convertidor de lado de línea que ahora actúa como rectificador. Esto puede conducir a una desconexión no intencionada del sistema de convertidor/turbina eólica. También podría provocar un daño a los componentes eléctricos.

- 20 La figura 3 muestra la relación entre las tensiones \vec{u}_g , \vec{u}_c y \vec{u}_x , que tienen lugar en posiciones de la línea eléctrica 215 tal como se indica en la figura 2. Como puede observarse a partir de la figura 3, en un evento de sobretensión, una tensión de transformador de red de distribución \vec{u}_g es mayor que la tensión máxima \vec{u}_c del convertidor CC/CA 206 que se obtiene a través de la utilización máxima de la tensión de enlace de CC V_{cc} representada por la circunferencia externa del círculo 300 mostrado en la figura 3. Con el fin de equilibrar esta sobretensión (es decir con el fin de garantizar que $\vec{u}_c = \vec{u}_g + \vec{u}_x$), el convertidor CC/CA 206 (convertidor de lado de línea) se hace funcionar de manera que se absorbe una potencia reactiva, conduciendo a un vector de corriente de convertidor I_c en los terminales de salida del convertidor CC/CA 206 que comprende una componente de corriente reactiva I_d y una componente de corriente activa I_q . La componente de corriente reactiva I_d y la componente de corriente activa I_q de la corriente de convertidor I_c se eligen de manera que la caída de tensión \vec{u}_x a través de las bobinas de autoinducción 216 ("tensión de bobina de choque de red de distribución") es igual a la diferencia vectorial entre la
- 25
- 30 tensión de transformador de red de distribución \vec{u}_g y la tensión de convertidor \vec{u}_c , tal como se muestra en la figura 3. En la situación mostrada en la figura 3, la corriente de convertidor I_c aún comprende una componente de corriente activa I_q .

- La figura 4 muestra un escenario de sobretensión en el que, en comparación con el escenario mostrado en la figura 3, la tensión de transformador de red de distribución \vec{u}_g , se aumenta. El escenario de sobretensión mostrado en la
- 35
- figura 4 es la tensión de transformador de red de distribución máxima \vec{u}_g que puede manejar el convertidor CC/CA 206 equilibrando las tensiones mediante absorción de potencia reactiva. Sin embargo, con el fin de equilibrar la sobretensión en este caso, la corriente de convertidor I_c inyectada en los terminales de salida del convertidor CC/CA 206 solo contiene una componente de corriente reactiva I_d , es decir ninguna componente de corriente activa I_q .

- La figura 5 muestra un escenario de sobretensión en el que la sobretensión es tan alta que incluso la corriente de
- 40
- convertidor I_c y tensión \vec{u}_c máximas que puede emitir el convertidor CC/CA 206 no son suficientes para equilibrar la sobretensión. Como resultado de esta condición, el funcionamiento activo (conmutación activa) del convertidor CC/CA 206 se detiene, lo que significa que el convertidor CC/CA 206 actúa ahora como rectificador pasivo. Como consecuencia, la tensión de enlace de CC V_{cc} aumenta lo que puede dar como resultado una desconexión no intencionada de la turbina eólica.

- 45 Realizaciones de la presente invención tienen como objetivo resolver el escenario de sobretensión mostrado en la figura 5, es decir tienen como objetivo proporcionar una solución para mantener la turbina eólica conectada a una red de distribución eléctrica aunque tenga lugar un escenario de sobretensión tal como se muestra en la figura 5.

- La figura 6 muestra un dibujo esquemático de un sistema de funcionamiento de una turbina eólica según una realización de la presente invención. Se proporcionan un sistema de control 600 de funcionamiento de una turbina eólica que comprende un generador eléctrico 202, un convertidor de lado de generador 204 conectado al generador eléctrico 202, un convertidor de lado de línea 206 conectado a una red de distribución eléctrica 222 a través de componentes eléctricos y un enlace de CC 208 conectado entre el convertidor de lado de generador 204 y el convertidor de lado de línea 206, comprendiendo el sistema 600: una unidad de monitorización 602 configurada para monitorizar tensiones de red de distribución en la red de distribución eléctrica 222 en busca de eventos de
- 50
- 55 sobretensión; una unidad de control 604 conectada a la unidad de monitorización 602 y configurada para controlar, si se detecta un evento de sobretensión, el funcionamiento del convertidor de lado de línea 206 en un intervalo de

sobremodulación durante al menos una parte de la duración del evento de sobretensión.

La figura 7 muestra la relación entre el índice de modulación (m_i) y la tensión de salida fundamental para el

convertidor de lado de línea. El índice de modulación puede expresarse como $m_i = \frac{u_1}{(2/\pi)V_{cc}}$ y varía entre 0 y 1. En el intervalo $0 \leq m_i < 0,907$, se dice que el convertidor funciona en un intervalo de modulación lineal tal como se muestra por un primer cuadrado 701 (más pequeño). Intervalo de funcionamiento lineal significa que el convertidor produce la tensión fundamental requerida junto con armónicos de conmutación pero no se genera ningún armónico

de orden bajo. La tensión máxima que puede producir el convertidor es $\frac{2}{\pi} V_{cc}$ (es decir $0,6364 V_{cc}$). En el intervalo de modulación lineal el convertidor puede producir solo el 90,7% de la tensión de salida posible máxima, es decir $0,907 * \frac{2}{\pi} V_{cc}$. La tensión superior del convertidor puede producirse mediante el funcionamiento en intervalo de

sobremodulación, es decir $0,907 \leq m_i < 1,0$ que corresponde al área entre el primer cuadrado 701 y un segundo cuadrado 702 (más grande). Intervalo de sobremodulación significa que el convertidor produce la tensión fundamental requerida junto con armónicos de conmutación y armónicos de orden inferior. Cuando $m_i = 1,0$ se dice que el convertidor funciona en un funcionamiento de seis pasos.

Ha de observarse que si el convertidor no se hace funcionar en el intervalo de sobremodulación, entonces un aumento en el índice de modulación más allá de 0,907 no aumenta la tensión de salida de convertidor, es decir la tensión de salida se satura. Esto se muestra mediante una primera flecha 703. Sin embargo si el convertidor se hace funcionar en el intervalo de sobremodulación, la tensión de salida aumenta con un índice de modulación más allá de 0,907 tal como se muestra mediante una segunda flecha 704.

La figura 8a ilustra el funcionamiento de un convertidor CC/CA en el intervalo de modulación lineal 700. En este

modo de funcionamiento, el vector de referencia de tensión \vec{u}^* puede tocar el hexágono 800 abarcado por los vectores de estado de conmutación \vec{u}_1^* a \vec{u}_6^* en una representación $\alpha\beta$, sin embargo no sobrepasan el hexágono. El convertidor de lado de línea solo usa el 90,7% de la tensión de enlace de CC. La figura 8b muestra los tiempos de funcionamiento de los conmutadores del convertidor correspondientes a los vectores de referencia mostrados en la figura 8a. Esto depende de la estrategia de modulación del convertidor. En la figura 8b, $t_0+t_1+t_2=T_s/2$ donde los

tiempos de conmutación t_0 , t_1 y t_2 son las duraciones en el tiempo para las que los vectores de conmutación \vec{u}_0^* , \vec{u}_1^* y \vec{u}_2^* estarán conmutados respectivamente, y T_s es el periodo de conmutación. Los instantes en el tiempo se calculan según la ecuación [0] basándose en la ubicación del vector de referencia \vec{u}^* en la figura 8a.

$$t_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} |u^*| T_s \text{Sen}\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right)$$

$$t_2 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} |u^*| T_s \text{Sen}(\theta) \quad (0)$$

$$t_0 = T_s - t_1 - t_2$$

La figura 9 ilustra el funcionamiento de un convertidor CC/CA en el intervalo de sobremodulación. El vector de referencia de tensión \vec{u}^* sobrepasa en parte el hexágono 800 abarcado por los vectores de estado de conmutación \vec{u}_1^* a \vec{u}_6^* en una representación $\alpha\beta$. Dependiendo del vector de referencia de tensión \vec{u}^* o del índice de modulación, existen dos modos de sobremodulación: modo I ($0,907 \leq m_i < m_{iOVM}$) y modo II ($m_{iOVM} \leq m_i < 1$). El valor de m_{iOVM} depende de la estrategia de sobremodulación y normalmente se encuentra entre 0,950-0,955. Las estrategias de conmutación usadas en estos dos modos de sobremodulación son diferentes debido a la no linealidad del intervalo de sobremodulación. En el modo I del intervalo de sobremodulación, la ecuación (0) todavía es válida pero la magnitud del vector de tensión de referencia se aumenta para obtener la tensión requerida al tiempo que el ángulo se mantiene igual. Por tanto, el vector de tensión de referencia modificado rota con velocidad angular uniforme. A medida que la magnitud del vector de tensión de referencia aumenta en el modo de sobremodulación I, el vector de tensión de referencia se encuentra fuera del hexágono durante alguna parte del periodo fundamental al tiempo que permanece dentro del hexágono durante el resto del periodo, visto en línea discontinua 901 en la figura 9. La componente fundamental del vector de tensión modificado u_p debería ser igual al vector de referencia real u^* , en el que la tensión de referencia real solo tiene la componente fundamental. Si se lleva a cabo modulación usando esta técnica, la tensión generada se distorsiona y sigue el vector de tensión de referencia modificado u_p , visto como línea oscura grueso 902 en la figura 9. El modo de sobremodulación I consigue su tensión máxima cuando el vector de tensión de referencia modificado se desplaza a lo largo del hexágono con velocidad angular uniforme. Para aumentar el índice de modulación más, el ángulo del vector de referencia modificado se cambia, por tanto, su velocidad angular pasa a ser no uniforme. Al final del modo I, la componente real de la tensión de referencia cambia

de sinusoidal a una forma de onda lineal por tramos. Tras esta fase, cualquier aumento adicional en la componente fundamental de la tensión de referencia es posible solo si se aumenta el área bajo la curva de tensión-tiempo. Según el principio fundamental de la PWM, se intenta conseguir un área tensión-tiempo igual para los vectores de tensión tanto de referencia como de estado de conmutación. Para conseguir un área de tensión-tiempo grande para un vector de estado de conmutación, uno de los vectores de estado de conmutación activa se conserva durante una determinada duración. Los detalles sobre los dos modos del intervalo de sobremodulación y el funcionamiento de seis pasos pueden consultarse en [i]-[iii].

Las figuras 10a a 10d muestran formas de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor a modo de ejemplo en el intervalo lineal y de sobremodulación para una carga dada a una frecuencia de conmutación de 1,5 kHz a diversos índices de modulación. Estas formas de onda se tomaron de los artículos [iii]- [iv]. La figura 10a muestra la forma de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor al índice de modulación de 0,906 correspondiente al modo de funcionamiento lineal. La figura 10b muestra la forma de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor al índice de modulación de 0,94 correspondiente al modo de sobremodulación I. La figura 10c muestra la forma de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor al índice de modulación de 0,985 correspondiente al modo de sobremodulación II. La figura 10d muestra la forma de onda de tensión y corriente de fase de salida de convertidor al índice de modulación de 1,0 correspondiente al funcionamiento de seis pasos. Como puede observarse a partir de las formas de onda de corriente y tensión de la figura 10a a la figura 10d, los armónicos de orden bajo aumentan con el aumento en el índice de modulación y están al máximo en el funcionamiento de seis pasos.

La figura 11 muestra un sistema 1100 de control del convertidor de lado de línea en dominio giratorio o dominio dq. El sistema 1100 comprende una primera unidad de sustracción 1102, una segunda unidad de sustracción 1104, una unidad de control de corriente 1106, una unidad de adición 1112, una unidad de conversión 1108 y una unidad de modulación por ancho de pulso (PWM) 1110. La primera unidad de sustracción 1102 determina una diferencia entre una componente de corriente de red de distribución activa i_q^* y una referencia de componente de corriente de red de distribución activa i_q^* . La segunda unidad de sustracción 1104 determina una diferencia entre una componente de corriente de red de distribución reactiva i_d y una referencia de componente de corriente de red de distribución reactiva i_d^* . Las diferencias así determinadas se suministran a una unidad de control de corriente 1106. La unidad de control de corriente en este caso es un control basado en PI convencional. Sin embargo, son posibles otras implementaciones de la unidad de control de corriente. La unidad de control de corriente 1106 determina, basándose en las diferencias suministradas, una tensión u_{pi} en un dominio dq. La u_{pi} se suma a una tensión en adelanto de alimentación u_{ff} y una tensión de acoplamiento cruzado u_{cc} , generando una tensión de referencia de convertidor de lado de línea en dominio dq u_{dq} . La tensión en adelanto de alimentación u_{ff} es esencialmente la tensión de red de distribución en dominio dq que se obtiene de 1122 y puede venir dada como u_{gdq} [u_{gd} , u_{gq}]. La magnitud de tensión de red de distribución viene dada como $|u_g|$ de 1122. La tensión u_{dq} se suministra a una unidad de conversión 1108 que convierte la tensión de referencia de convertidor u_{dq} del dominio dq a un dominio $\alpha\beta$ usando el ángulo de tensión de red de distribución γ_g , obteniéndose de ese modo una tensión de referencia de convertidor \underline{u}_1^* en el dominio $\alpha\beta$. El ángulo de tensión de red de distribución γ_g corresponde normalmente a un ángulo de tensión de secuencia positiva y se obtiene a través de un lazo de fase fija (PLL) 1122. La tensión de referencia de convertidor \underline{u}_1^* se suministra a una unidad de modulador por ancho de pulso 1110 que convierte la tensión de referencia de convertidor \underline{u}_1^* en señales de PWM (modulación por ancho de pulso) correspondientes que se suministran al convertidor de lado de línea 206. El convertidor de lado de línea 206 genera una tensión de salida según la tensión de referencia de convertidor \underline{u}_1^* . Como resultado, una corriente de convertidor activa y una corriente de convertidor reactiva que fluyen a través de la línea eléctrica 215 corresponden a la referencia de corriente de convertidor activa i_d^* y la referencia de corriente de convertidor reactiva i_q^* , respectivamente.

El circuito eléctrico en la figura 11 se muestra con líneas gruesas, y comprende un convertidor de lado de línea 1114, una bobina de choque de red de distribución x_s 1116 y un transformador de red de distribución 1118. El circuito eléctrico también comprende una pluralidad de sensores de corriente 1120. También hay sensores de tensión. Normalmente, la tensión de salida de convertidor (\underline{u}_e) se estima. Normalmente, las corrientes de convertidor (\underline{i}_e), la corriente de red de distribución (\underline{i}_g) y la tensión de red de distribución (\underline{u}_g) se miden. La tensión de red de distribución (\underline{u}_g) se usa como entrada para un lazo de fase fija (PLL) 1122 para determinar la velocidad angular de tensión de red de distribución (ω_g), el ángulo de tensión de red de distribución (γ_g) y la magnitud de tensión de red de distribución ($|u_g|$), ya que la magnitud de tensión de red de distribución $|u_g|$ comprende tensiones de secuencia positiva de eje d y q, u_{gd} y u_{gq} . Lo mismo puede aplicarse a las tensiones de secuencia negativa.

La referencia de corriente activa i_q^* normalmente se produce por un controlador de tensión de enlace de CC (no mostrado) y se refiere al requisito de potencia activa procedente de la red de distribución y también a la disponibilidad del viento. La referencia de corriente activa i_q^* también se ve afectada por las condiciones de funcionamiento de la red de distribución y el convertidor. Por ejemplo, a veces no se permite transmitir toda la potencia activa de generador a la red de distribución, y cuando esto ocurre, i_q^* se reduce y parte de la potencia activa

se dirige a la resistencia de enlace de CC (212 en la figura 2) para que se disipe. La referencia de corriente reactiva i_q^* normalmente está asociada con el requisito de potencia reactiva en la red de distribución. Normalmente, i_q^* se genera mediante control de potencia reactiva.

5 La figura 12a ilustra la generación de referencia de corriente $\vec{i}_1^* (i_d^*, i_q^*)$ en las condiciones de red de distribución sin fallos. Las entradas principales a los bloques de generación de referencia de corriente son referencia de potencia activa (p^*), referencia de potencia reactiva (q^*), tensión de red de distribución (\vec{u}_g) y corriente de red de distribución (\vec{i}_g).

10 Tal como se mencionó anteriormente, en condiciones de red de distribución sin fallos/normales, las referencias de corriente se determinan a través de la figura 12a. Estas referencias de corriente i_d^* e i_q^* son las proporcionadas para el control de corriente descrito en la figura 11. Sin embargo, en condiciones de red de distribución anómalas tales como condiciones de sobretensión, las referencias de corriente han de modificarse para dar soporte a la red de distribución. Esto se debe a que durante condiciones de sobretensión, el sistema de control 1100 mostrado en la figura 11 está haciéndose funcionar en el intervalo de sobremodulación y se introducen armónicos de orden bajo que puede no manejar de manera apropiada el sistema de control 1100.

15 La modificación de referencia de corriente depende de la situación. Durante la condición de sobretensión leve en la figura 3, el convertidor de lado de línea se hace funcionar solo en la región de modulación lineal. Durante la situación en la figura 4 que corresponde al final de la región de modulación lineal, se absorbe la potencia reactiva máxima posible para manejar la sobretensión. En esta condición, se supone que toda la potencia activa procedente del generador va a la resistencia de enlace de CC. Por tanto, la referencia de corriente activa será sustancialmente cero y la referencia de corriente reactiva es sustancialmente igual a la corriente de régimen de convertidor.

Para manejar una tensión de red de distribución \vec{u}_g superior, el convertidor de lado de línea puede hacerse funcionar en el intervalo de sobremodulación. Para el funcionamiento en el intervalo de sobremodulación según una realización, puede adoptarse la siguiente estrategia para modificar la referencia de corriente para el control de corriente. Haciendo referencia a las figuras 2 y 3, puede obtenerse la ecuación de tensión:

25
$$\vec{u}_c = \vec{u}_g + \vec{u}_x \quad (1)$$

Normalmente, \vec{u}_c se estima en lugar de medirse debido a una conmutación de alta frecuencia del convertidor de potencia. Además, en el intervalo de sobremodulación \vec{u}_c contiene armónicos de orden inferior. Independientemente

del intervalo lineal o de sobremodulación $|\vec{u}_c|$ puede venir dado como $\frac{2}{\pi} V_{dc} m_i$ tal como se explicó anteriormente. La ecuación (1) puede aproximarse como,

30
$$\vec{u}_1^* = \vec{u}_g + \vec{u}_x \quad (2)$$

Donde \vec{u}_1^* es la referencia de tensión del bloque de control de convertidor al bloque de PWM, véase la figura 11. Con (2), puede obtenerse la caída de tensión \vec{u}_x usando las siguientes ecuaciones.

$$\vec{u}_x = \vec{i}_c^* \cdot \vec{x}_s = \vec{u}_1^* - \vec{u}_g \quad (3)$$

Por tanto, la referencia de corriente puede obtenerse usando las siguientes ecuaciones.

35
$$\vec{i}_c^* = \frac{\vec{u}_1^* - \vec{u}_g}{\vec{x}_s} \quad (4)$$

La tensión $|\vec{u}_1^*|$ se encuentra entre el valor de $0,5772 V_{cc}$ y $0,6364 V_{cc}$ en intervalo de sobremodulación.

Haciendo referencia a la figura 4, la corriente \vec{i}_c^* es sustancialmente reactiva al final de la modulación lineal a través del intervalo de sobremodulación. La referencia de corriente \vec{i}_c^* que está en el dominio $\alpha\beta$ puede convertirse a dominio dq a través del ángulo de tensión de red de distribución γ_g . Posteriormente, las componentes de corriente de dq se filtran y se limitan en corriente para obtener las referencias de corriente modificadas i_d^m e i_q^m . Los límites de corriente i_d^{lim} e i_q^{lim} en la figura 12b dependen del régimen de corriente de convertidor según la siguiente ecuación:

$$(i_d^{lim})^2 + (i_q^{lim})^2 = (k \times i_c^{régimen})^2 \quad (5)$$

donde $i_c^{régimen}$ es el régimen de corriente nominal del convertidor y k es el “factor de sobrecarga de corriente de convertidor de corto periodo de tiempo” que permite hacer funcionar el convertidor a más de la corriente de régimen durante una duración corta. El factor k depende de regímenes de hardware de convertidor dados y la duración de funcionamiento, por ejemplo, k podría estar en el intervalo de 1,0-1,2 para un convertidor dado durante la sobrecarga de corto periodo de tiempo. Se da una prioridad mayor a la corriente reactiva sobre la corriente activa con el fin de proporcionar un mejor soporte para la red de distribución. Por tanto, podría darse una situación en la que $i_d^{lim} = k i_c^{régimen}$ e $i_q^{lim} = 0$. Obsérvese que normalmente el convertidor se hace funcionar a la corriente de régimen o inferior. Si la corriente de convertidor supera los límites de corriente, la supervisión de convertidor desconectará el sistema de convertidor. Por tanto, con el fin de hacer funcionar el convertidor en condición de sobrecarga durante un corto periodo de tiempo, los límites de supervisión de convertidor han de flexibilizarse.

En la figura 12b además de \vec{u}_1 y \vec{u}_g hay dos entradas más al bloque de modificación de corriente: (1) ángulo de tensión de red de distribución γ_g y (2) referencia de inyección de corriente de red de distribución \vec{i}_g^r . El ángulo de tensión de red de distribución γ_g se obtiene del PLL basándose en \vec{u}_g , y se usa para transformación dq/αβ o viceversa. La referencia de inyección de corriente de red de distribución \vec{i}_g^r puede estar definida por alguna normativa de red de distribución u operador de parque eólico para una condición de sobretensión. En esta situación, \vec{i}_1^m puede ser dependiente de manera parcial o total de \vec{i}_g^r . Sin embargo, si no hay tal requisito, la corriente se determina mediante el método proporcionado anteriormente. Si se requiere, otras entradas para el bloque de modificación de referencia de corriente podrían ser señales de corriente medidas \vec{i}_g e \vec{i}_c . Los parámetros de sistema de convertidor/hardware tales como x_s también se proporcionan al bloque de “modificación de referencia de corriente”.

Por tanto, el sistema de control de convertidor monitoriza continuamente la tensión de red de distribución \vec{u}_g . Si la tensión de red de distribución \vec{u}_g está en el intervalo nominal, las referencias de corriente se deciden tal como se describe en la figura 12a. En caso de evento de sobretensión, si la magnitud de sobretensión no es tan alta, entonces las referencias de corriente pueden decidirse basándose en la figura 3 ó 4. Sin embargo, si la sobretensión no puede manejarse a través de la estrategia descrita en la figura 4, entonces el convertidor se hace funcionar en el intervalo de sobremodulación y las referencias de corriente se modifican tal como se describe en la figura 12b.

La figura 13 muestra un sistema de control 1300 según una realización de la presente invención. El sistema de control 1300 comprende una unidad de generación de señal de corriente de línea 1302 configurada para determinar una señal de corriente de lado de línea \vec{i}_c indicativa de una corriente de línea que tiene lugar en la salida de un convertidor de lado de línea 206 conectado a la entrada de un transformador de red de distribución 218 a través de componentes eléctricos; una unidad de estimación de señal de corriente armónica 1304 configurada para estimar una señal de corriente armónica \vec{i}_h^e indicativa de una componente de corriente armónica de la corriente de línea; la

filosofía para estimar la señal de corriente armónica \vec{i}_h^e se describe a continuación. Haciendo referencia a la figura 7, después del índice de modulación de 0,907, el convertidor de lado de línea 206 funciona en intervalo de sobremodulación hasta funcionamiento de seis pasos correspondiente al área entre los dos cuadrados. Existen muchos métodos para hacer funcionar un convertidor en intervalo de sobremodulación tal como los descritos en [i]-[iii]. Tal como se mencionó anteriormente, se generan armónicos de orden bajo cuando se hace funcionar un convertidor en intervalo de sobremodulación. Las magnitudes de estos armónicos varían de un método a otro. No obstante, para una técnica de sobremodulación dada, puede determinarse fácilmente el contenido de armónicos

\vec{u}_h para una referencia de tensión fundamental \vec{u}_1^e . Un modelo de componentes eléctricos 1306 usado por la unidad de estimación de señal de corriente armónica 1304 significa el modelo de impedancia de circuito equivalente entre el convertidor de lado de línea 206 y el transformador de red de distribución 218 que incluyen principalmente bobinas de autoinducción de red de distribución 1308 y componentes de filtro de red de distribución tales como condensadores. Pueden realizarse simplificaciones necesarias a este modelo si se requiere.

Con el conocimiento de \vec{u}_h y el modelo de componentes eléctricos 1306, puede estimarse fácilmente la corriente armónica \vec{i}_h^e . La corriente de salida de convertidor \vec{i}_c consiste en dos componentes principales, es decir la componente de corriente fundamental real \vec{i}_1 y la componente de corriente armónica real \vec{i}_h^r . Idealmente, la corriente armónica estimada \vec{i}_h^e es igual a la corriente armónica real \vec{i}_h^r . En el modo de funcionamiento lineal ambas serán cero y en el intervalo de sobremodulación serán sustancialmente iguales, es decir $\vec{i}_h^e \approx \vec{i}_h^r$. Una unidad de sustracción

1310 configurada para sustraer la señal de componente de corriente armónica \vec{i}_h^e de la señal de corriente de línea \vec{i}_c para obtener una señal de corriente de línea libre de corriente armónica \vec{i}_1^f que es sustancialmente igual a la corriente de línea real \vec{i}_1 a frecuencia fundamental; una unidad de determinación de error de corriente de línea 1312 configurada para determinar un error de corriente de línea $\Delta \vec{i}_1$ entre la señal de corriente de línea libre de corriente armónica \vec{i}_1^f y una referencia de corriente de línea \vec{i}_1^m que se determina tal como se comentó anteriormente con referencia a la figura 12b; en la que la unidad de control de corriente 1314 está configurada para controlar, basándose en el error de corriente de línea determinado $\Delta \vec{i}_1$, el convertidor de lado de línea 206 por medio de un modulador de PWM 1316 de manera que el error de corriente de línea $\Delta \vec{i}_1$ se compensa en parte o totalmente. El controlador, es decir la unidad de control de corriente 1314, produce la señal de referencia de tensión \vec{u}_1^* para el convertidor que se alimenta finalmente al modulador de PWM para producir las señales de PWM para el convertidor de potencia.

De manera similar al sistema de control 1100 explicado anteriormente con referencia a la figura 11, el sistema de control 1300 incluye un PLL 1318 para determinar la velocidad angular de tensión de red de distribución (ω_g), el ángulo de tensión de red de distribución (γ_g) y la magnitud de tensión de red de distribución ($|u_g|$).

El sistema de control 1300 mostrado en la figura 13 es una implementación en el dominio estacionario. También es posible implementar el sistema de control 1300 en dominio giratorio. Las figuras 14 y 15 muestran implementaciones a modo de ejemplo en el dominio giratorio/dq.

La figura 14 muestra un sistema de control 1400 según una realización.

De manera similar al sistema de control 1300, el sistema de control 1400 incluye una unidad de estimación de señal de corriente armónica 1418 configurada para estimar una señal de corriente armónica \vec{i}_h^e que se sustrae mediante una primera unidad de sustracción 1420 de la señal de corriente de línea \vec{i}_c para obtener una señal de corriente de línea libre de corriente armónica \vec{i}_1^f .

En el sistema de control 1400 mostrado en la figura 14, las señales de corriente \vec{i}_1^f e \vec{i}_1^m se convierten en la referencia dq, es decir $\vec{i}_{1dq}^f (i_{1d}^f, i_{1q}^f)$ e $\vec{i}_{1dq}^m (i_{1d}^m, i_{1q}^m)$ respectivamente a través de transformación $\alpha\beta \rightarrow dq$ mediante una primera unidad de conversión 1402 y una segunda unidad de conversión 1404, respectivamente. El ángulo de tensión de red de distribución γ_g que se obtiene a través de un lazo de fase fija (PLL) 1406 se usa para esta transformación. La diferencia de \vec{i}_{1dq}^m e \vec{i}_{1dq}^f determinada por una segunda unidad de sustracción 1408 se usa para obtener el error de corriente $\Delta \vec{i}_{1dq} (\Delta i_{1d}, \Delta i_{1q})$ que se alimenta a un controlador de corriente 1410 (por ejemplo un controlador PI). La salida del controlador de corriente 1410 es la referencia de tensión de convertidor en dominio dq

\vec{u}_{1dq}^* que se convierte mediante una tercera unidad de conversión 1412 a una tensión en dominio $\alpha\beta$ \vec{u}_1^* a través de transformación $dq \rightarrow \alpha\beta$. La tensión en dominio $\alpha\beta$ \vec{u}_1^* se usa para controlar el convertidor de lado de línea 206 por medio de un modulador de PWM 1416.

La figura 15 muestra un sistema de control 1500 según una realización.

De manera similar al sistema de control 1400, el sistema de control 1500 incluye una unidad de estimación de señal de corriente armónica 1518 configurada para estimar una señal de corriente armónica \vec{i}_h^e que se sustrae mediante una primera unidad de sustracción 1520 de la señal de corriente de línea \vec{i}_c para obtener una señal de corriente de línea libre de corriente armónica \vec{i}_1^f .

La diferencia de \vec{i}_1^m e \vec{i}_1^f determinada por una segunda unidad de sustracción 1502 se convierte a dominio dq mediante una primera unidad de conversión 1504. El ángulo de tensión de red de distribución γ_g que se obtiene a través de un lazo de fase fija (PLL) 1506 se usa para esta transformación.

El resultado de la conversión $\Delta \vec{i}_{1dq} (\Delta \vec{i}_{1d}, \Delta \vec{i}_{1q})$ se alimenta a un controlador de corriente 1508. La salida del controlador de corriente 1508 es la referencia de tensión de convertidor en dominio dq \vec{u}_{1dq}^* que se convierte

mediante una segunda unidad de conversión 1510 a una tensión en dominio $\alpha\beta$ $\overline{u_1^*}$ a través de transformación $dq \rightarrow \alpha\beta$. La tensión en dominio $\alpha\beta$ $\overline{u_1^*}$ se usa para controlar el convertidor de lado de línea 206 por medio de un modulador de PWM 1512.

En la descripción anterior se han mencionado las siguientes publicaciones:

- 5 [i] J. Holtz, W. Lotzkat, y A. M. Khambadkone, "On continuous control of pwm inverters in overmodulation range including six-step", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 8, págs. 546-553, 1993.
- [ii] D.-C. Lee y G.-M. Lee, "A novel overmodulation technique for space-vector pwm inverters", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 13, n.º 6, págs. 1144-1151, 1998.
- 10 [iii] A. Tripathi, A. Khambadkone, y S. Panda, "Direct method of overmodulation with integrated closed loop stator flux vector control", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 20, págs. 1161-1168, sept. de 2005.
- [iv] A. Tripathi, A. M. Khambadkone, y S. K. Panda, "Stator flux based space vector modulation and closed loop control of the stator flux vector in overmodulation into six-step mode", IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 19, págs. 775-782, mayo de 2004"

15

REIVINDICACIONES

1. Método de funcionamiento de una turbina eólica que comprende un generador eléctrico (202), un convertidor de lado de generador (204) conectado al generador eléctrico, un convertidor de lado de línea (206) conectado a una red de distribución eléctrica a través de componentes eléctricos y un enlace de CC (208) conectado entre el convertidor de lado de generador y el convertidor de lado de línea, caracterizado por que el método comprende:
 - monitorizar las tensiones de red de distribución en la red de distribución eléctrica en busca de eventos de sobretensión,
 - si se detecta un evento de sobretensión, hacer funcionar el convertidor de lado de línea en un intervalo de sobremodulación durante al menos una parte de la duración del evento de sobretensión.
2. Método según la reivindicación 1,
 - en el que, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea se hace funcionar en una región no lineal que se extiende entre un extremo superior de un intervalo de modulación lineal y un funcionamiento de seis pasos.
3. Método según la reivindicación 2,
 - en el que, en el intervalo de sobremodulación, el control de convertidor de lado de línea usa más del 90% y menos del 100% de la tensión de enlace de CC disponible.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,
 - en el que señales de referencia de corriente para control de corriente en el intervalo de sobremodulación se modifican para generar una señal de referencia de corriente de línea basándose en al menos uno de lo siguiente: tensión de red de distribución, vector de tensión de referencia de convertidor, requisitos de inyección de corriente de red de distribución, requisito de potencia activa y requisito de potencia reactiva.
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
 - en el que, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea se hace funcionar usando control basado en vector.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el convertidor de lado de línea se hace funcionar usando control de corriente de PI compensado.
7. Método según la reivindicación 6, que comprende además:
 - obtener una señal de corriente de lado de línea indicativa de una corriente de línea que tiene lugar en los terminales de salida de un convertidor de lado de línea conectado al transformador de red de distribución a través de componentes eléctricos;
 - estimar una señal de componente de corriente armónica indicativa de una componente de corriente armónica presente en la corriente de línea;
 - sustraer la señal de componente de corriente armónica estimada de la señal de corriente de línea obtenida para encontrar una segunda señal de corriente de línea que está sustancialmente libre de las componentes de corriente armónica;
 - determinar un error de corriente de línea entre la segunda señal de corriente de línea y una señal de referencia de corriente de línea que se genera dependiendo del evento de sobretensión detectado;
 - controlar, basándose en el error de corriente de línea determinado, el convertidor de lado de línea de manera que se compense parcial o completamente el error de corriente de línea.
8. Sistema de funcionamiento de una turbina eólica que comprende un generador eléctrico, un convertidor de lado de generador (204) conectado al generador eléctrico, un convertidor de lado de línea (206) conectado a una red de distribución eléctrica a través de componentes eléctricos y un enlace de CC (208) conectado entre el convertidor de lado de generador y el convertidor de lado de línea, caracterizado porque el sistema comprende:
 - una unidad de monitorización (602) configurada para monitorizar tensiones de red de distribución en la red de distribución eléctrica en busca de eventos de sobretensión,
 - una unidad de control (604) conectada a la unidad de monitorización y configurada para controlar, si se detecta un evento de sobretensión, el funcionamiento del convertidor de lado de línea en un intervalo de

sobremodulación durante al menos una parte de la duración del evento de sobretensión.

9. Sistema según la reivindicación 8,
 en el que la unidad de control está configurada para controlar, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea para que funcione en un intervalo de funcionamiento no lineal que se extiende entre un extremo superior de un intervalo de funcionamiento lineal y un funcionamiento de seis pasos.
10. Sistema según la reivindicación 9,
 en el que la unidad de control está configurada para controlar, en el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea de manera que el control de convertidor de lado de línea usa más del 90% y menos del 100% de la tensión de enlace de CC disponible.
11. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además una unidad de modificación configurada para modificar señales de referencia de corriente para generar una señal de referencia de corriente de línea basándose en al menos uno de lo siguiente: sobretensión de red de distribución, corriente de red de distribución, requisito de potencia activa y requisito de potencia reactiva.
12. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11,
 en el que la unidad de control está configurada para controlar, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea usando control basado en vector.
13. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11,
 en el que la unidad de control está configurada para controlar, durante el intervalo de sobremodulación, el convertidor de lado de línea usando control de corriente de PI compensado.
14. Sistema según la reivindicación 13,
 en el que la unidad de control comprende:
 una unidad de obtención de señal de corriente de línea configurada para obtener una señal de corriente de línea indicativa de una corriente de línea que tiene lugar en los terminales de salida de un convertidor de lado de línea conectado al transformador de red de distribución a través de componentes eléctricos;
 una unidad de estimación de señal de componente de corriente armónica configurada para estimar una señal de componente de corriente armónica indicativa de una componente de corriente armónica presente en la corriente de línea;
 una unidad de sustracción configurada para sustraer la señal de componente de corriente armónica estimada de la señal de corriente de línea obtenida para encontrar una segunda señal de corriente de línea que está sustancialmente libre de las componentes de corriente armónica;
 una unidad de determinación de error de corriente de línea configurada para determinar un error de corriente de línea entre la segunda señal de corriente de línea y una señal de referencia de corriente de línea que se genera dependiendo de la sobretensión detectada;
 en el que la unidad de control está configurada para controlar, basándose en el error de corriente de línea determinado, el convertidor de lado de línea de manera que se compense parcial o completamente el error de corriente de línea.
15. Turbina eólica que comprende un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.

FIG 1

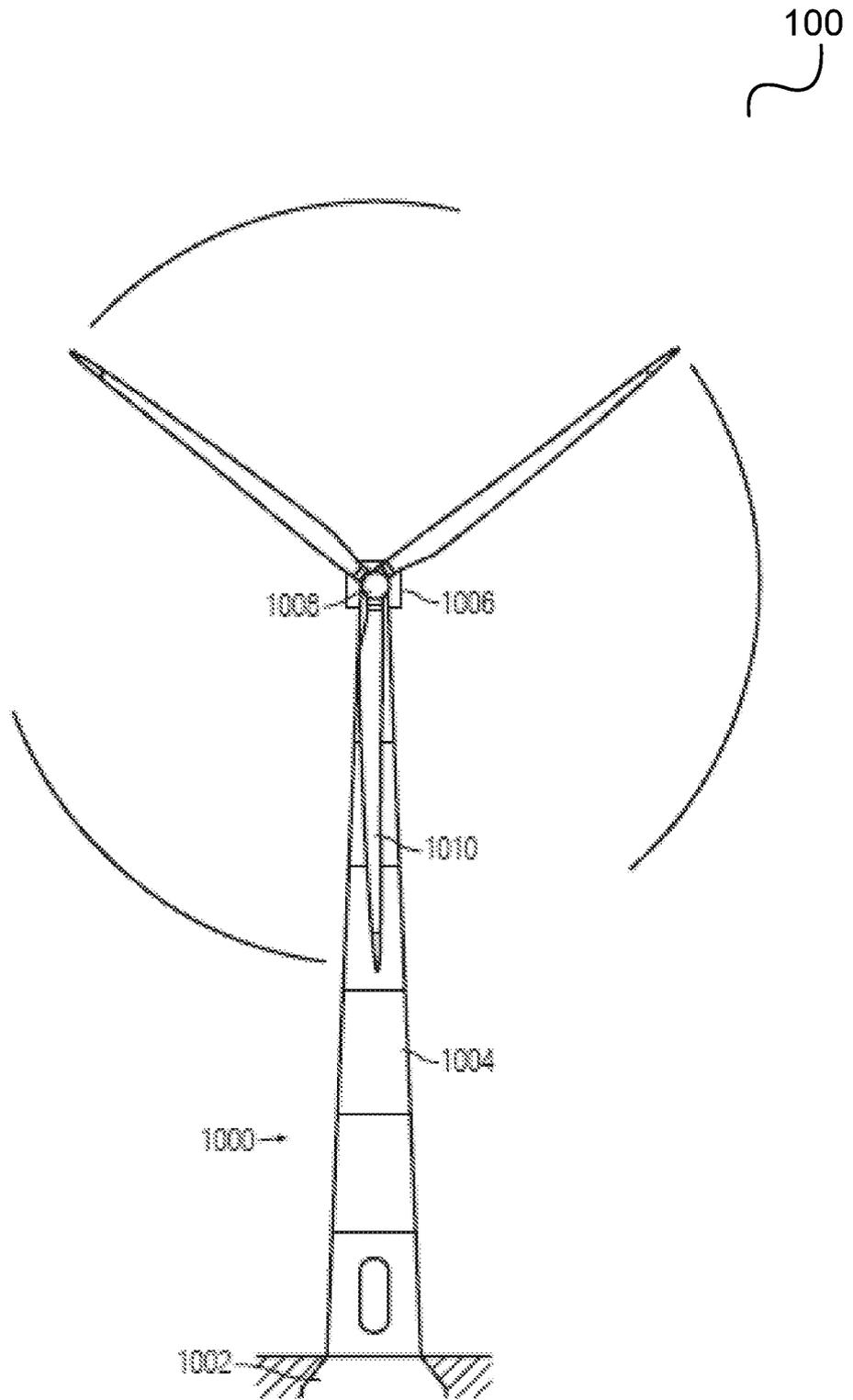


FIG 2

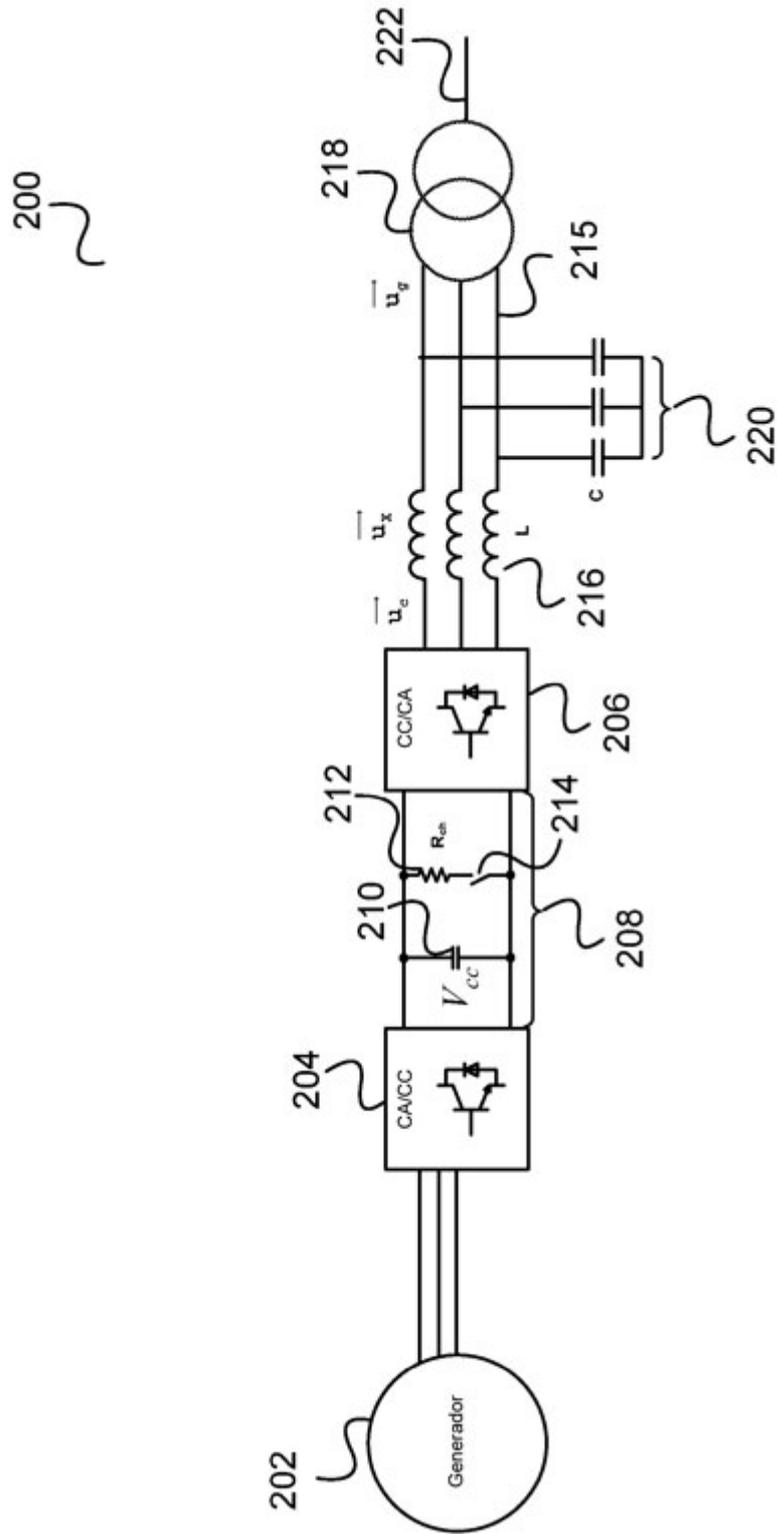


FIG 3

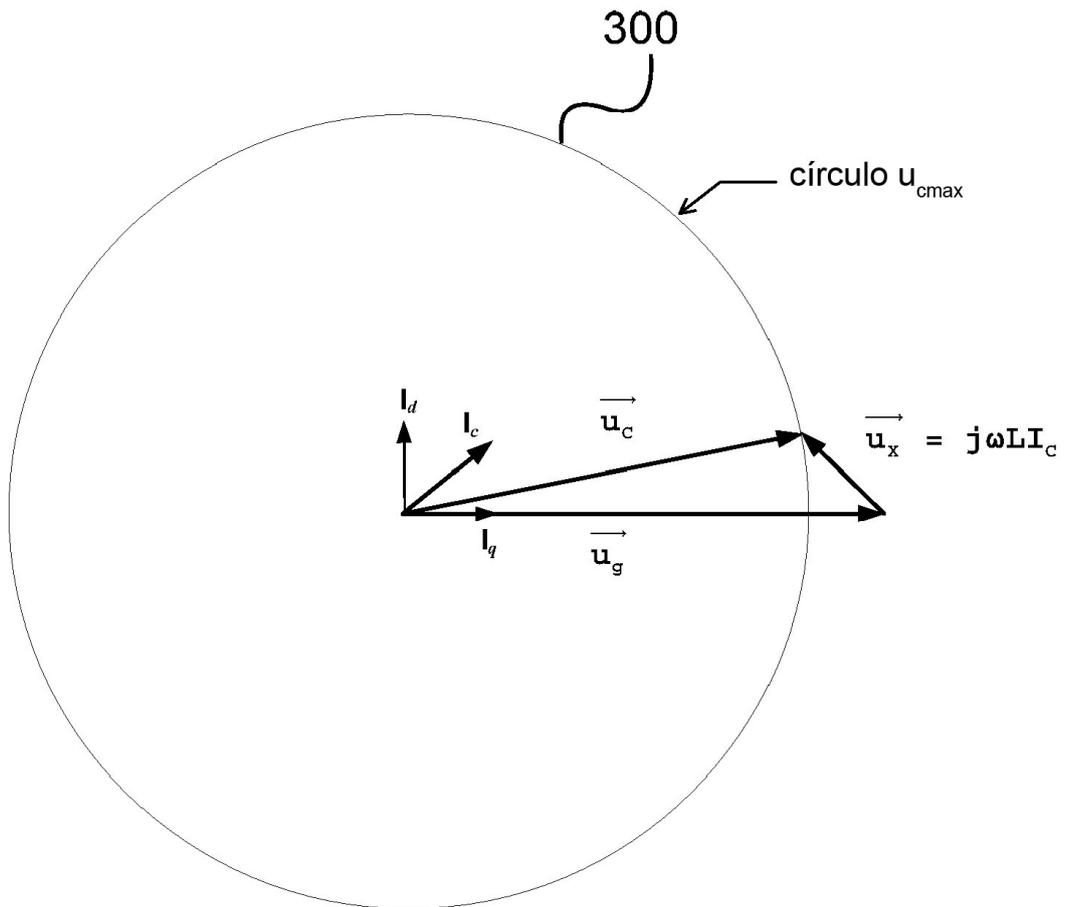


FIG 4

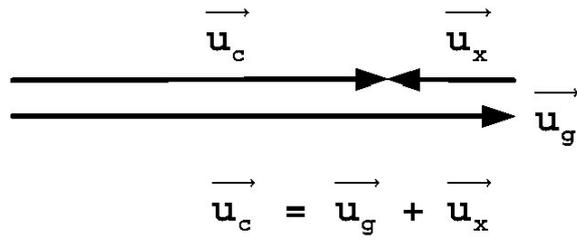
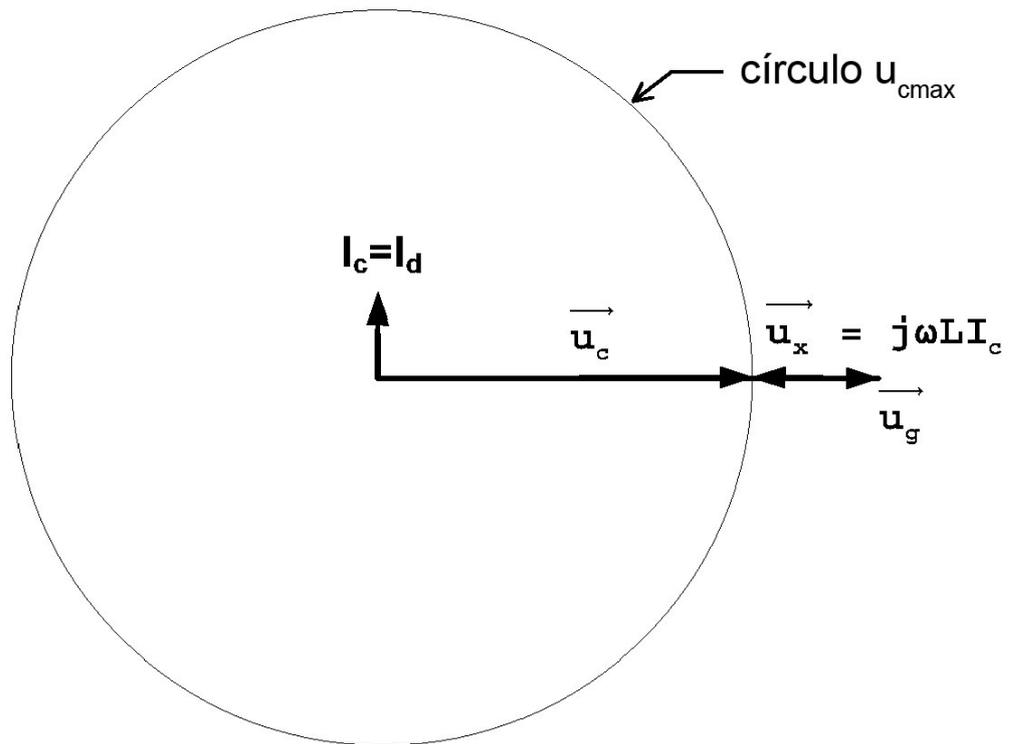


FIG 5

500

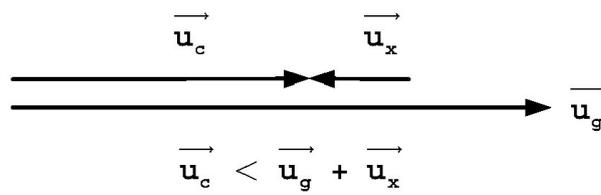
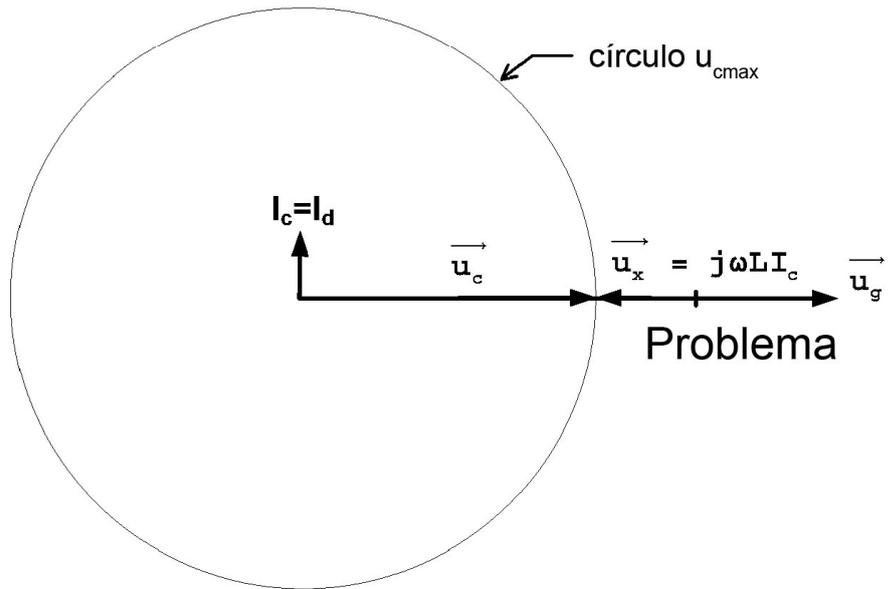


FIG 6

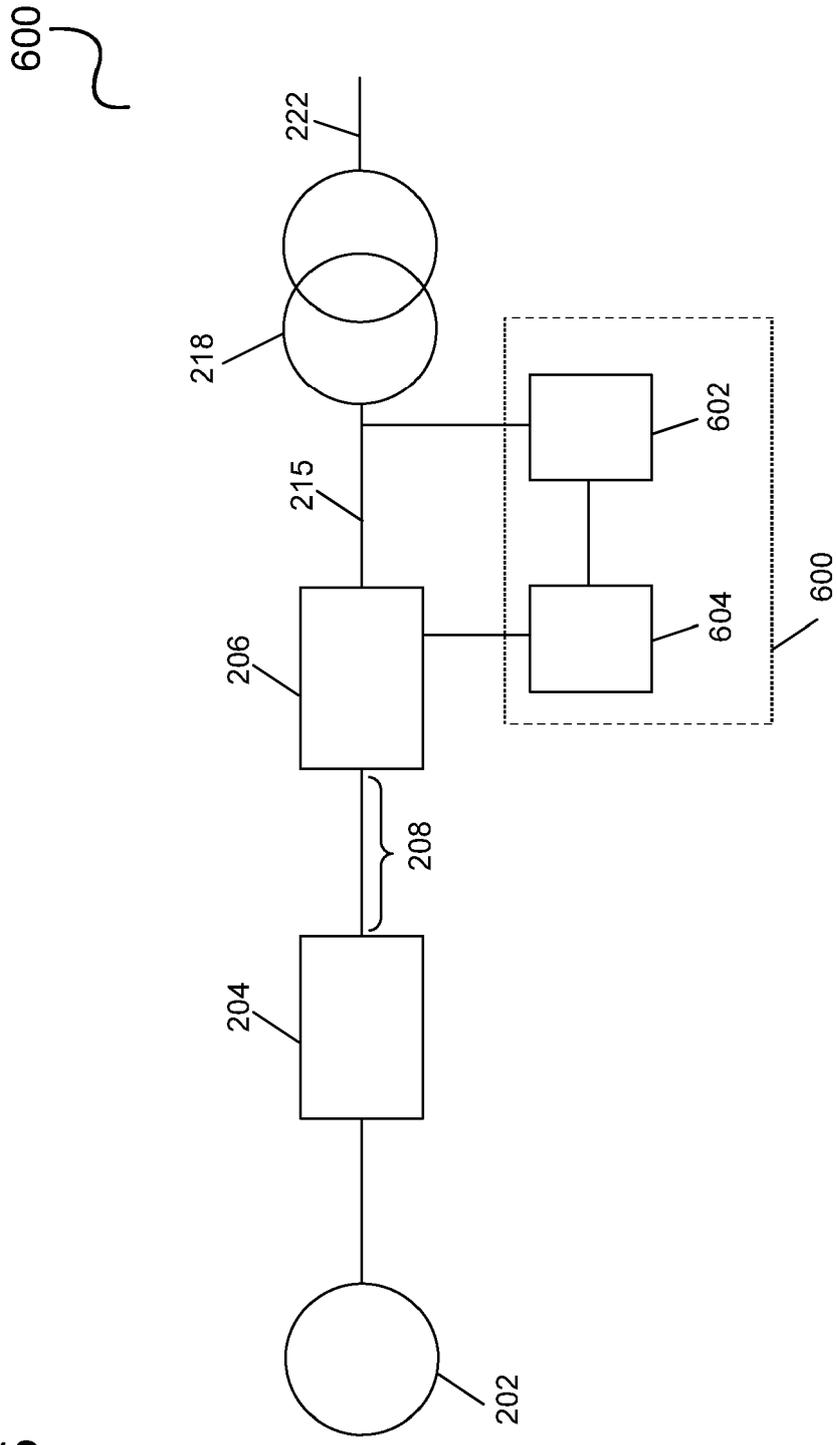


FIG 7

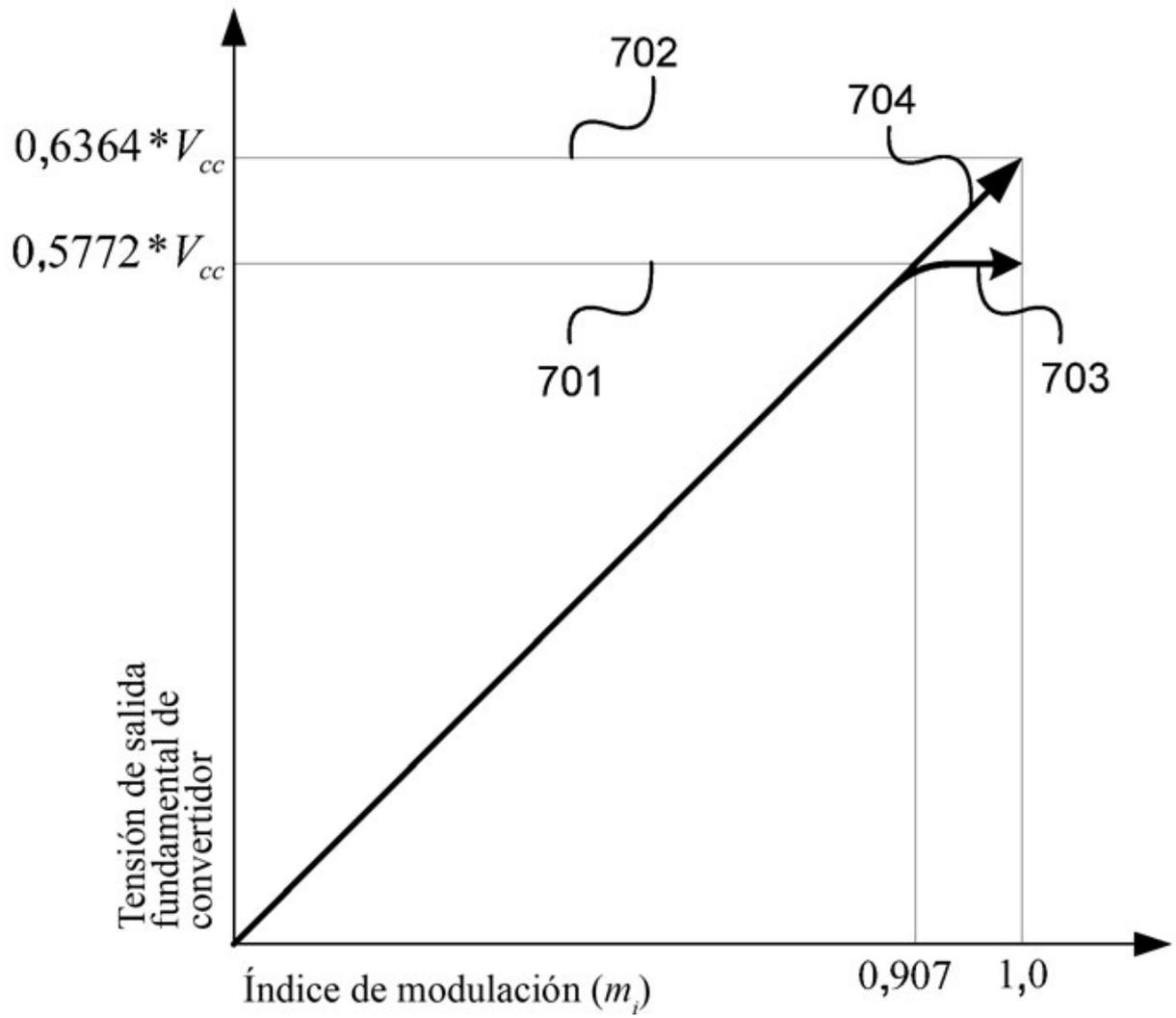


FIG 8

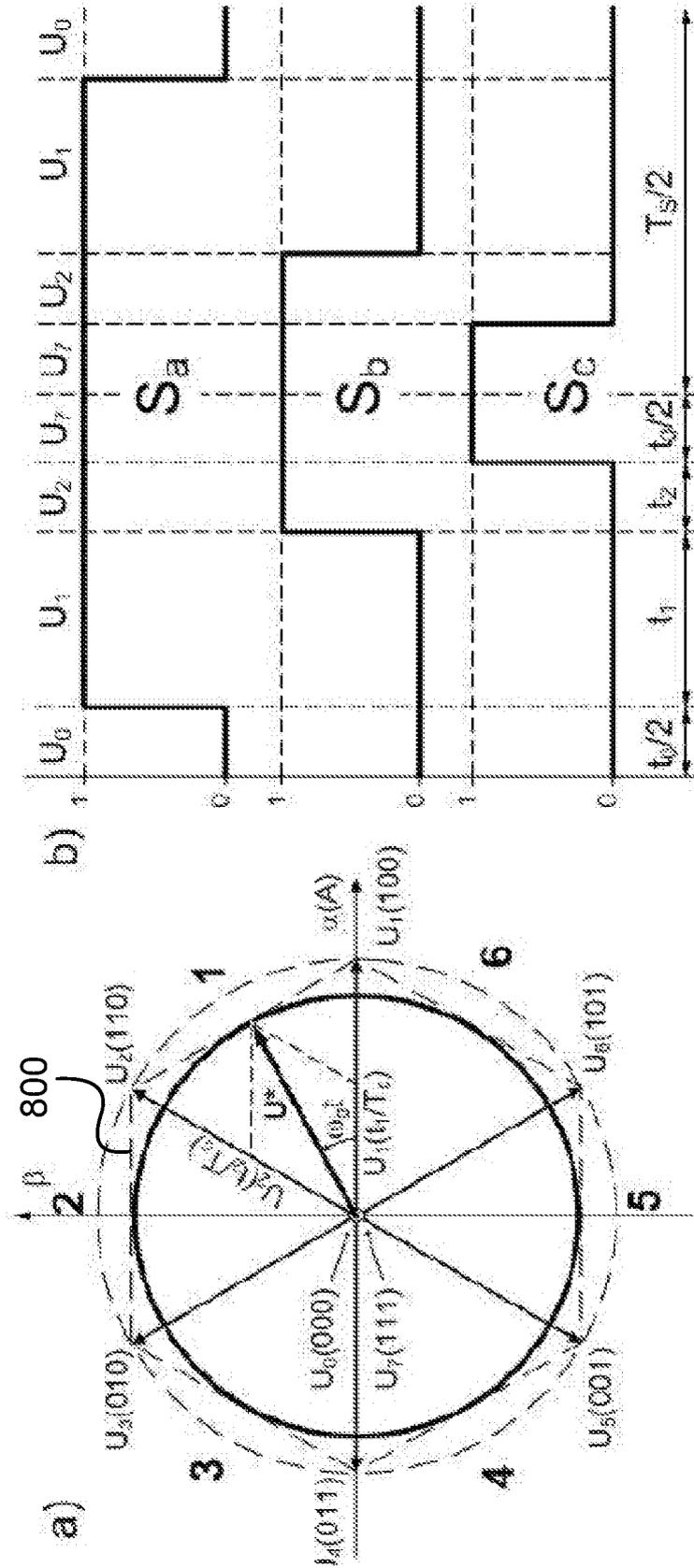


FIG 9

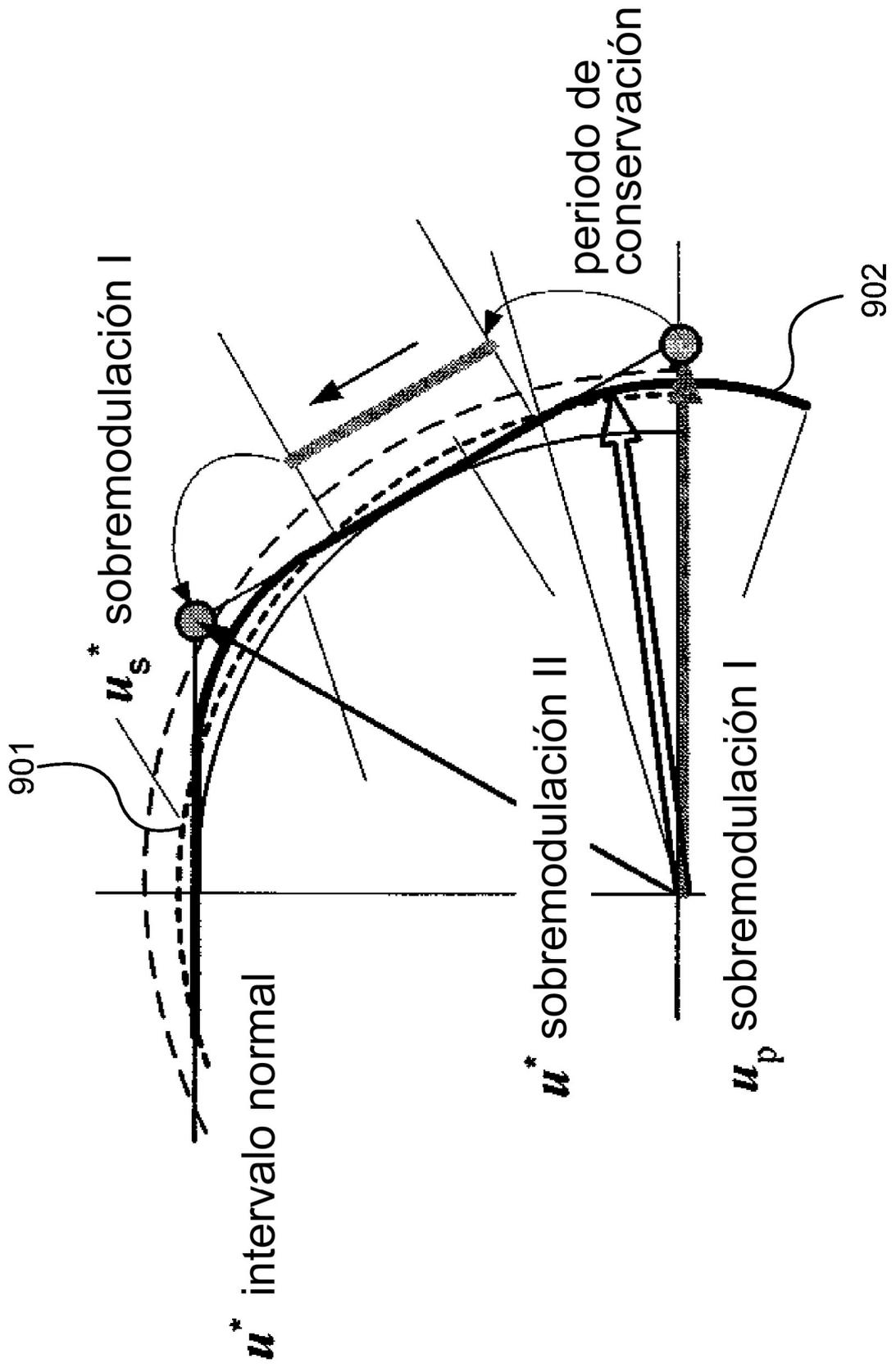
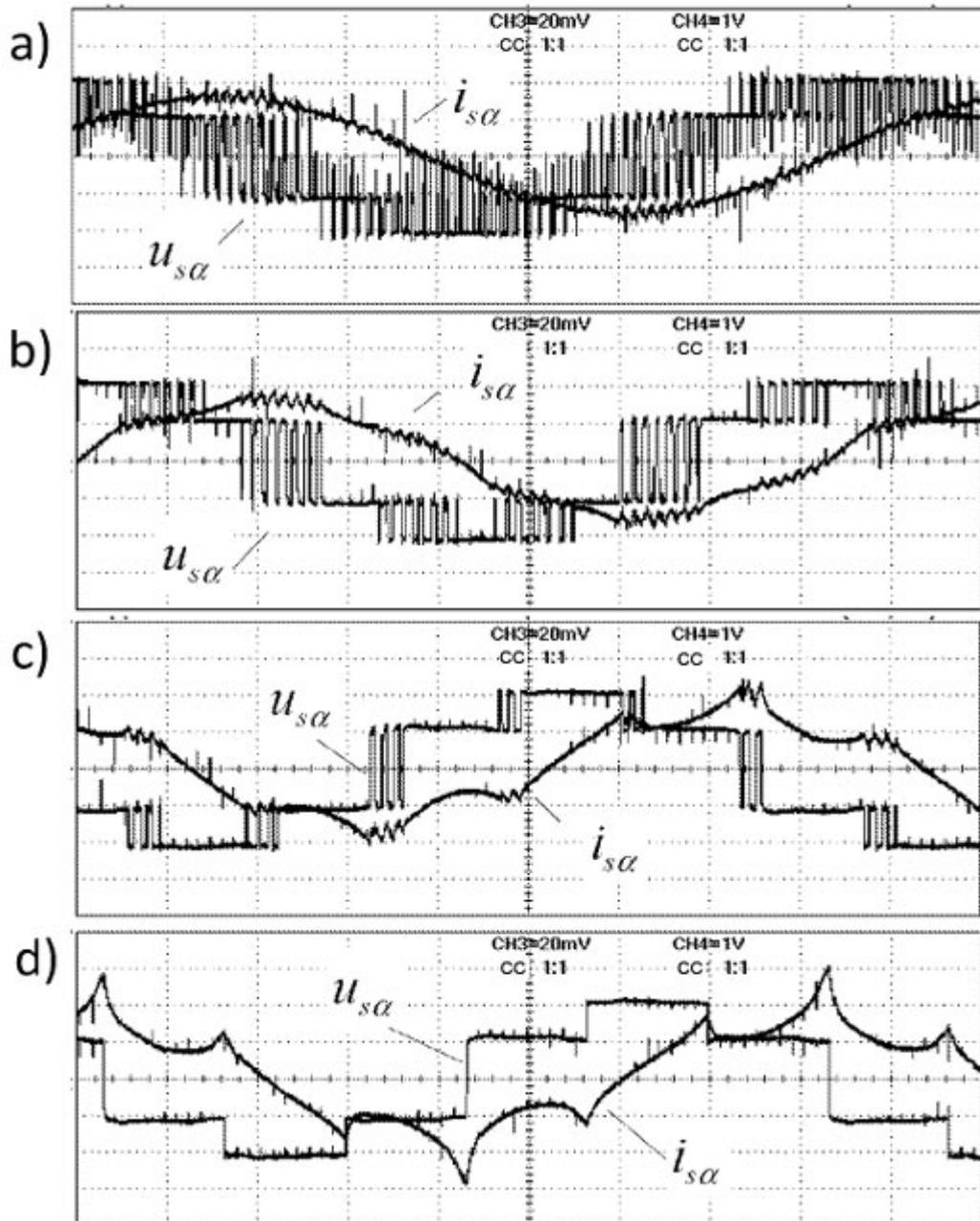


FIG 10



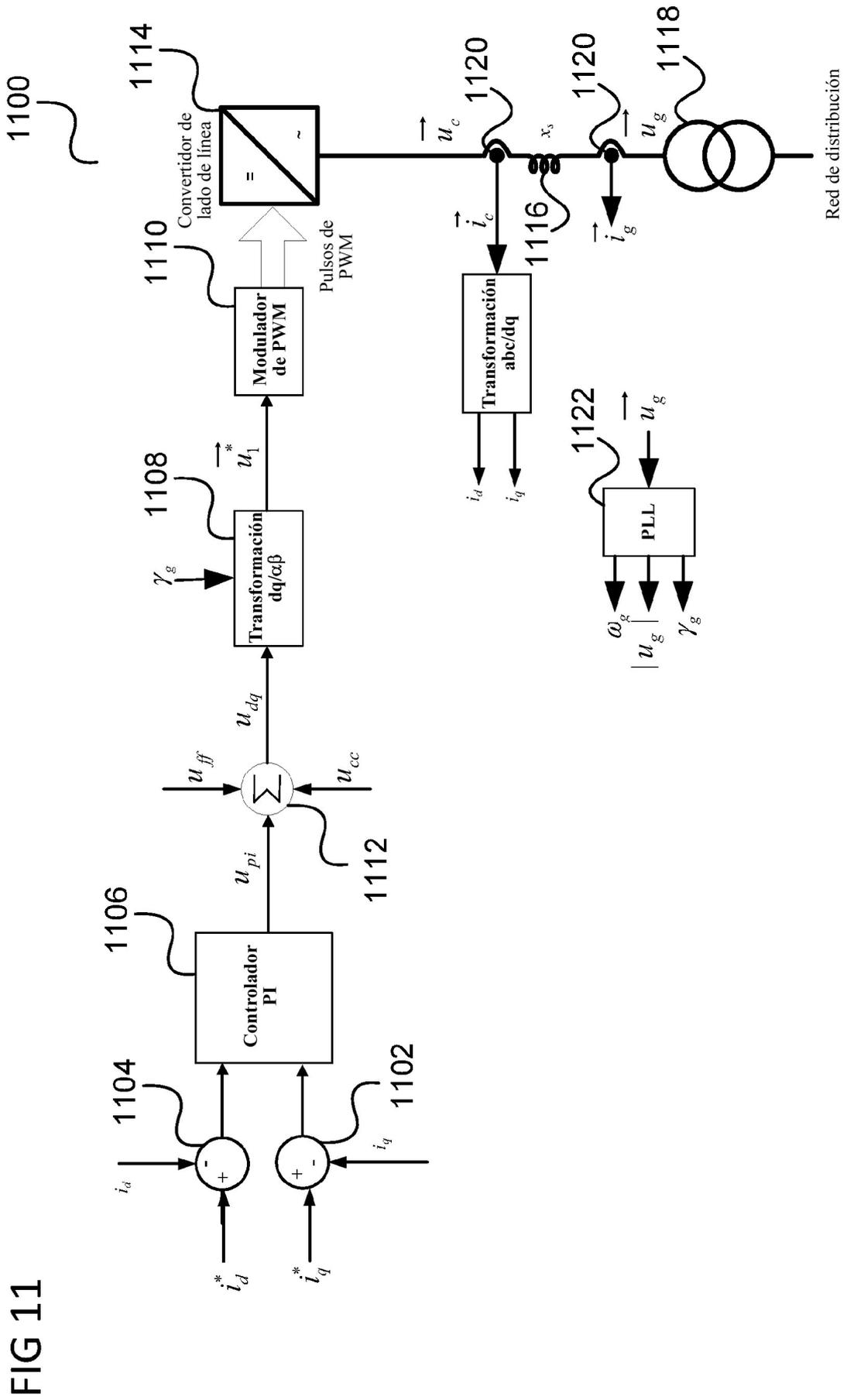
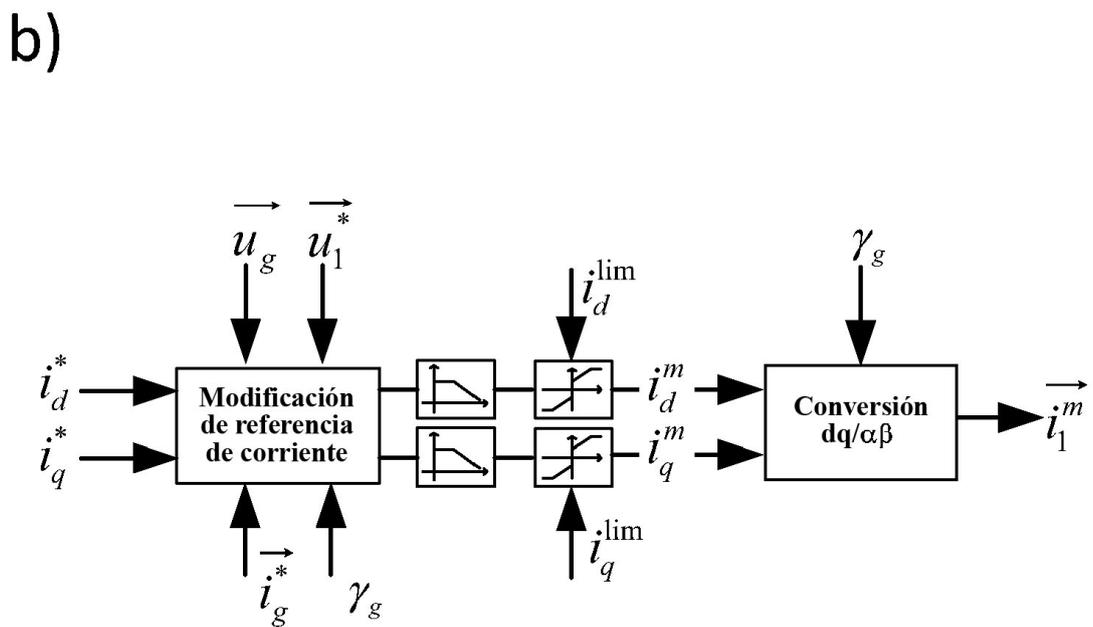
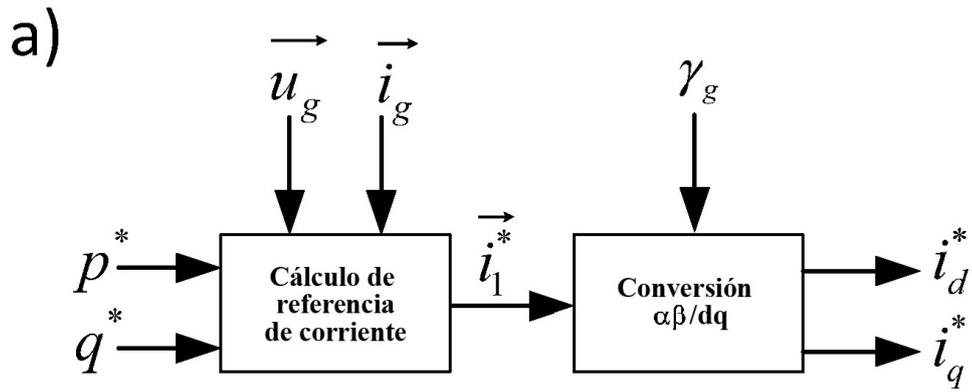


FIG 12



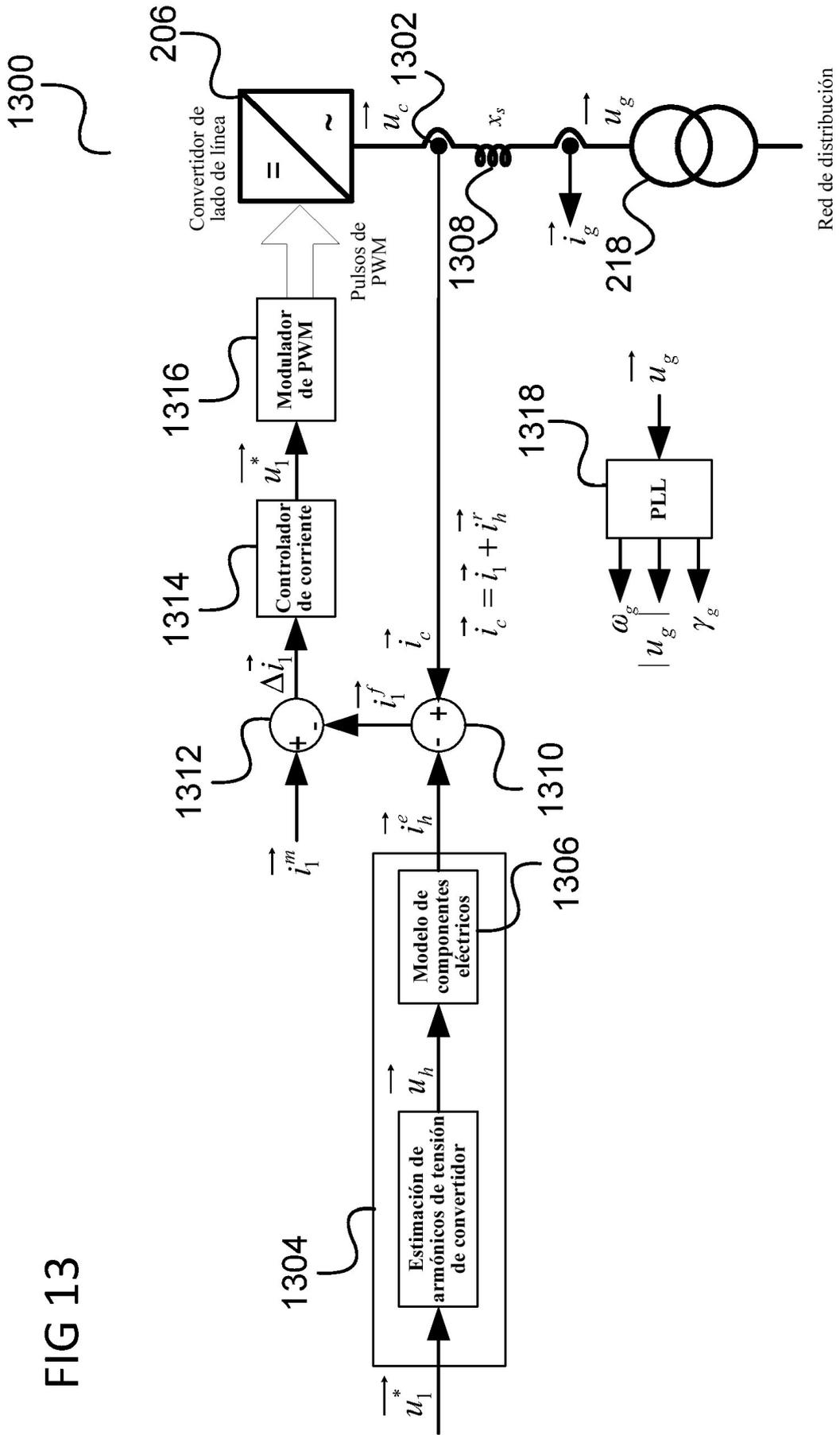


FIG 13

FIG 14

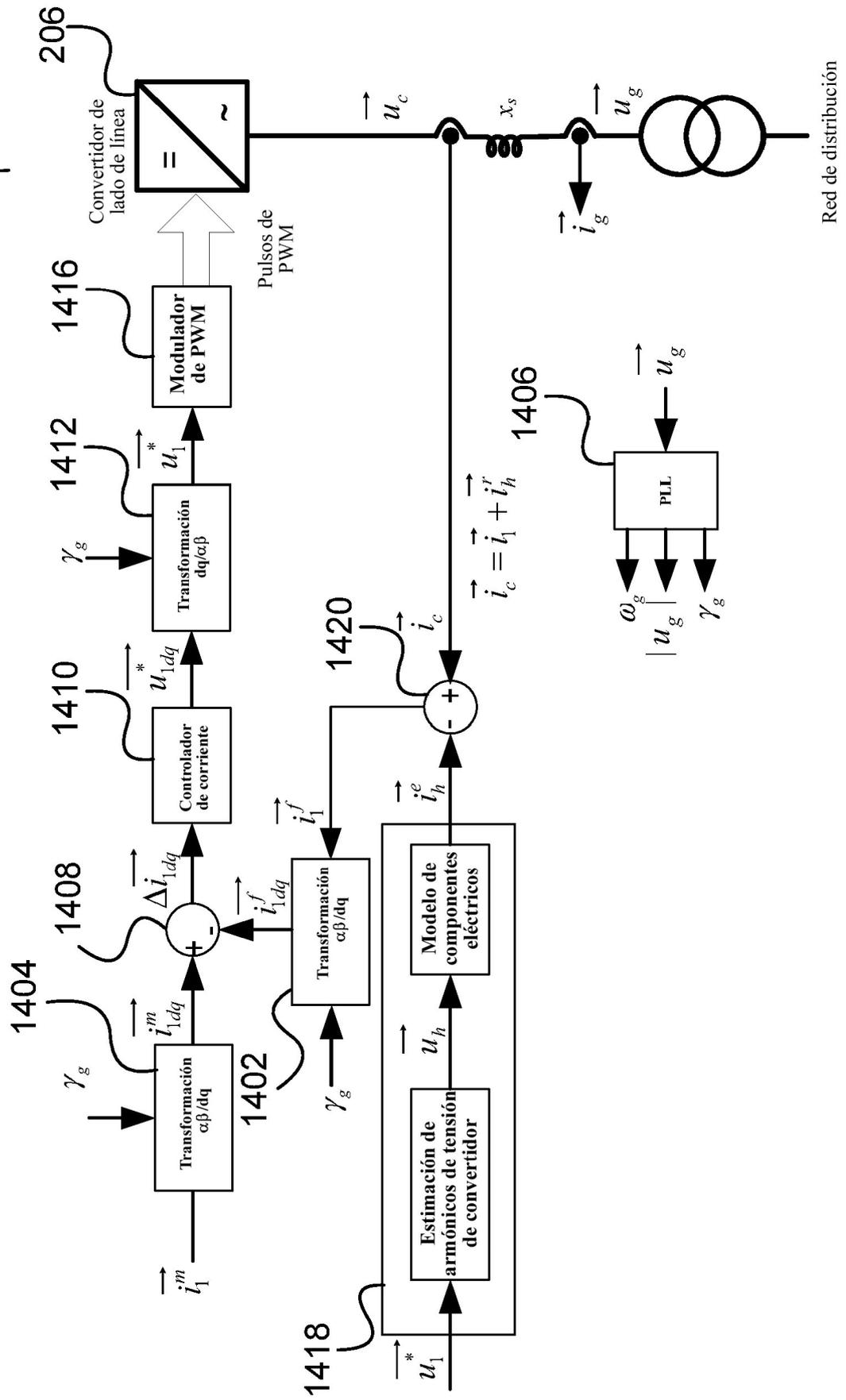


FIG 15

