

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 273**

51 Int. Cl.:

H02M 7/5387 (2007.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02J 3/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2009 E 09178256 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2015 EP 2209200**

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

30 Prioridad:

22.12.2008 US 341862

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

09.09.2015

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**WANG, CHANGYONG;
TAN, ZHUOHUI;
DELMERICO, ROBERT W.;
RITTER, ALLEN MICHAEL;
TEICHMANN, RALPH;
ZHANG, RICHARD S.;
SEYMOUR, ROBERT ALLEN y
YUAN, XIAOMING**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 545 273 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema eléctrico y procedimiento de control

5 La invención se refiere en general a sistemas eléctricos para proporcionar una potencia eléctrica a redes públicas en puntos de interconexión. De forma más específica, la invención se refiere a un sistema eléctrico que convierte una potencia eléctrica generada por fuentes de energía renovable tales como turbinas eólicas y módulos fotovoltaicos en una potencia eléctrica que cumple un requisito de armónicos bajos del punto de interconexión.

10 Recientemente, las fuentes de energía renovable, tales como turbinas eólicas, han recibido una mayor atención como fuentes de energía alternativas seguras para el medio ambiente y relativamente económicas. Con este interés creciente, se han realizado unos esfuerzos considerables para desarrollar unas turbinas eólicas que sean fiables y eficientes. Para maximizar la eficacia de la generación de potencia y para simplificar la conexión con la red pública, las turbinas eólicas están ubicadas a menudo una cerca de otra, a lo que se hace referencia en general en las técnicas pertinentes como "parque eólico". Las turbinas eólicas en el parque eólico generan una potencia eléctrica y suministran corriente eléctrica al servicio público, tal como una red eléctrica, en un punto de conexión común (PCC).

15 Un tipo de turbina eólica que mantiene la velocidad del generador rotacional proporcional a la velocidad del viento es una turbina eólica de velocidad variable. Se describen ejemplos de la turbina eólica de velocidad variable en, por ejemplo, el documento US5083039 de Richardson y col. La turbina eólica de velocidad variable incluye un generador, un convertidor en el lado de generador, una barra colectora de enlace de CC y un convertidor que está conectado con la red. La energía de frecuencia variable del generador se transfiere a la barra colectora de enlace de CC por el convertidor de lado de generador y más adelante se convierte en una frecuencia fija por el convertidor de lado de red.

20 El convertidor activo de lado de red por lo general utiliza conmutadores de semiconductores, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), para convertir tensión de CC en tensión de CA a la frecuencia de red mediante unas acciones de conmutación modulada por ancho de pulsos de esos conmutadores de semiconductores. Las acciones de conmutación tienden a crear unos armónicos indeseables. Para evitar los problemas causados por estos armónicos, se instala un número de filtros. Los componentes de filtro son por lo general voluminosos y costosos.

25 El documento EP 1 995 863 divulga unos procedimientos de control para la sincronización y el desfase de la estrategia de modulación por ancho de pulsos (PWM) de los convertidores de potencia que se usan para abastecer una red de alta tensión, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

30 Existe una necesidad en la técnica de proporcionar un sistema eléctrico mejorado para un parque eólico que pueda cumplir el requisito de armónicos bajos en un punto de conexión eléctrica para un grupo de turbinas eólicas que difiere con respecto a los sistemas convencionales. Adicionalmente, tales sistemas serían útiles para otras fuentes de energía renovable tales como sistemas fotovoltaicos, por ejemplo.

35 Se proporcionan de este modo diversos aspectos y realizaciones de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres semejantes representan partes semejantes por la totalidad de los dibujos, en los que:

40 La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un parque eólico de acuerdo con una realización divulgada en el presente documento.

La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema eléctrico de turbina eólica de acuerdo con una realización divulgada en el presente documento.

La figura 3 es un diagrama de bloques de un modulador de PWM para generar unos patrones de PWM para conmutadores de semiconductores de unos convertidores en un sistema eléctrico de turbina eólica.

45 La figura 4 es un par de gráficas que ilustran una forma de onda fundamental a modo de ejemplo, una forma de onda de portadora triangular, y un patrón de PWM que se genera mediante una comparación de la forma de onda fundamental con la forma de onda de portadora triangular.

50 La figura 5 es un conjunto de gráficas que ilustran unas formas de onda fundamentales y unas formas de onda de portadora triangulares para una fase correspondiente de unos convertidores en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica.

La figura 6 es un conjunto de gráficas que ilustran unos patrones de PWM para una fase correspondiente de unos convertidores en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica mediante una comparación de las formas de onda fundamentales y las formas de onda de portadora triangulares de la figura 5.

La figura 7 es un conjunto de gráficas que ilustran unas formas de onda fundamentales y unas formas de onda de portadora triangulares para una fase correspondiente de unos convertidores en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica de acuerdo con otra realización.

5 La figura 8 es un conjunto de gráficas que ilustran unos patrones de PWM para una fase correspondiente de unos convertidores en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica mediante una comparación de las formas de onda fundamentales y las formas de onda de portadora triangulares de la figura 7.

La figura 9 es un conjunto de gráficas que ilustran unas formas de onda fundamentales y unas formas de onda de portadora triangulares para una fase correspondiente de unos convertidores en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica de acuerdo con aún otra realización.

10 La figura 10 es un diagrama vectorial de vectores de armónicos de cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica de acuerdo con una realización.

La figura 11 es un diagrama vectorial de vectores de armónicos de cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica de acuerdo con otra realización.

15 La figura 12 es un diagrama vectorial de vectores de armónicos de cinco sistemas eléctricos de turbina eólica de acuerdo con otra realización.

La figura 13 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de planta eólica que incluye un sistema de subestación de acuerdo con una realización.

La figura 14 es un diagrama de bloques de un sistema eléctrico fotovoltaico de acuerdo con una realización divulgada en el presente documento.

20 Realizaciones que se describen en lo sucesivo en general se refieren a un sistema de generación de potencia con al menos dos sistemas eléctricos que están conectados en paralelo en un punto de conexión eléctrica tal como una red eléctrica o un sistema de subestación de un sistema de generación de potencia. Para fines de ilustración, los sistemas eléctricos se ilustran en las figuras 1 - 13 como sistemas eléctricos de turbina eólica. Cada sistema eléctrico de turbina eólica incluye un controlador de modulación por ancho de pulsos (PWM) para obtener una forma de onda fundamental y una señal portadora, y para generar un patrón de PWM para un convertidor de lado de red respectivo a usar cuando se accionan conmutadores del convertidor de lado de red respectivo. Un sistema de control está configurado para reducir los armónicos en el punto de conexión eléctrica mediante la intercalación de las señales portadoras y formas de onda fundamentales, o una combinación de señales portadoras y formas de onda fundamentales para generar unos patrones de PWM intercalados respectivamente para los convertidores de lado de red de los sistemas eléctricos de turbina eólica. Por lo tanto, una combinación de las formas de onda de los sistemas eléctricos de turbina eólica en el punto de conexión eléctrica tiene unos armónicos relativamente bajos. Por consiguiente, en un aspecto, los diseños de filtro pasivo de los sistemas eléctricos de turbina eólica pueden simplificarse de forma significativa. En otro aspecto, se permite que los conmutadores de los convertidores de lado de red tengan una frecuencia de conmutación relativamente baja, se disminuyen las pérdidas de energía de los conmutadores, y se aumentan las eficiencias de potencia de los convertidores de lado de red.

La figura 1 ilustra un parque eólico 11 que incluye una pluralidad de turbinas eólicas 12 que están conectadas en paralelo para suministrar potencia eléctrica a una red eléctrica 14 en un punto de conexión eléctrica 16 que, en una realización, es un punto de conexión común (PCC).

40 Un sistema de generación de potencia 10 a modo de ejemplo para el parque eólico 11 incluye una pluralidad de sistemas eléctricos de turbina eólica 18. Cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 incluye un sistema de conversión de potencia 20 para convertir una potencia eléctrica que se genera por un generador 28 de la turbina eólica 12 en una corriente alterna con una tensión constante y una frecuencia constante, y un transformador de turbina 22 para transformar la corriente alterna en una tensión constante y una determinada frecuencia antes de que la corriente alterna se suministre a la red eléctrica 14 en el PCC 16. El sistema eléctrico 10 incluye un sistema de control que puede comprender una pluralidad de controladores de turbina 24, un controlador maestro 25, o una combinación de controladores de turbina y maestros.

50 La figura 2 ilustra una realización en la que la turbina eólica 12 incluye un rotor 13 con unos álabes 26 que están acoplados con el generador 28 que a su vez está acoplado con el sistema eléctrico de turbina eólica 18. En una realización, el generador 28 comprende una máquina síncrona de imanes permanentes. El acoplamiento del rotor con el generador 28 puede ser o bien un acoplamiento directo o bien por medio de una caja de engranajes opcional (que no se muestra). El generador 28 a modo de ejemplo es un generador síncrono, no obstante, la invención también puede usarse con otros generadores tales como generadores de inducción de doble alimentación. En algunas realizaciones, las turbinas eólicas 12 tienen unos generadores con la misma potencia de salida asignada, o una similar. El transformador de turbina 22 transforma la corriente alterna a partir de un convertidor de lado de red 32 en un lado de tensión inferior 21 en una tensión más alta en un lado de alta tensión 23. En una realización, el sistema eléctrico de turbina eólica 18 incluye además un filtro pasivo 27 en conexión en serie con el lado de alta tensión 23 del transformador 22 para una reducción adicional de armónicos.

El generador 28 está acoplado por medio de un estátor (que no se muestra) con el sistema de conversión de potencia 20 del sistema eléctrico de turbina eólica 18. El sistema de conversión de potencia 20 recibe la electricidad a partir del generador 28 y convierte la electricidad en una forma apropiada para la entrega a la red eléctrica 14 (la figura 1). El sistema de conversión de potencia 20 en la realización a modo de ejemplo es un convertidor de CA - CC - CA que incluye un convertidor de lado de generador 30, una barra colectora de enlace de CC 31, y un convertidor de lado de red 32. Cada uno de los convertidores de lado de generador y de lado de red 30 y 32 incluye los conmutadores 34. Los conmutadores 34 pueden comprender cualesquiera dispositivos apropiados con varios ejemplos que incluyen transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), tiristores comunicados por puerta (GCT), y transistores de efecto de campo de metal óxido semiconductor (MOSFET). En la realización que se ilustra, el convertidor de lado de generador 30 y el convertidor de lado de red 32 son convertidores de dos niveles. En otras realizaciones, el convertidor de lado de generador 30 y el convertidor de lado de red 32 pueden ser convertidores de múltiples niveles.

En determinadas realizaciones, el convertidor de lado de red 32 comprende un convertidor de modulación por ancho de pulsos (PWM) que incluye tres fases, teniendo cada una dos conmutadores 34. En una realización, el controlador de turbina 24 incluye un modulador de PWM 36 que proporciona unas señales de patrón de PWM moduladas 38 para controlar los conmutadores 34. Por lo tanto, el convertidor de lado de red 32 transforma una corriente continua en la barra colectora de CC 31 mediante las señales de patrón de PWM moduladas 38 en una corriente alterna trifásica con una frecuencia y una tensión controlada.

En una realización, el modulador de PWM 36 recibe unas formas de onda de referencia (de corriente o de tensión) en el PCC 16. En tales realizaciones, las formas de onda de referencia para cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 por lo tanto son idénticas y se hace referencia a las mismas como "referencia global". En una realización alternativa, tal como se muestra mediante líneas de trazo discontinuo en la figura 2, el modulador de PWM 36 recibe unas formas de onda de referencia a partir de la salida del sistema de conversión de potencia 20, y se hace referencia respectivamente a las formas de onda de referencia como "referencias locales". Las referencias locales de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 pueden estar ligeramente desplazadas en cuanto a su fase. Las cantidades de fase de las tres fases U_a , U_b y U_c de un sistema eléctrico de turbina eólica 18 individual están separadas una con respecto a otra 120 grados.

Haciendo referencia a la figura 3, el modulador de PWM 36, en una realización, puede comprender un circuito de lazo de seguimiento de fase (PLL) 40 para medir una fase y una amplitud de una forma de onda de referencia, un generador de referencia 42 para recibir la información de fase y de amplitud de la forma de onda de referencia y generar una forma de onda fundamental, y un generador de portadora 44 para recibir la información de fase de la forma de onda de referencia y emitir una señal portadora. Un diseño de los circuitos de PLL para su uso con formas de onda trifásicas se describe, por ejemplo, en el documento US2007/0159265 de Weng y col.

En una realización, la señal portadora es una forma de onda triangular, y el modulador de PWM 36 comprende además un comparador 46 para comparar la forma de onda fundamental con la forma de onda de portadora triangular y generar una señal de patrón de PWM 38 para accionar los conmutadores 34 (la figura 2). En otras realizaciones, los moduladores de PWM 36 son unos moduladores de PWM por vectores espaciales, y cada una de las señales portadoras es una señal de conmutación con unos periodos de conmutación previamente determinados. En una realización, una relación de la frecuencia de señal portadora con respecto a la frecuencia de forma de onda fundamental es un número entero y puede usarse para generar unos patrones de PWM síncronos. En otras realizaciones en las que la relación no es un número entero, los patrones de PWM generados son asíncronos.

Haciendo referencia a la figura 4, en una realización, la forma de onda fundamental comprende una forma de onda seno 50, la señal portadora comprende una forma de onda triangular 52, y un patrón de PWM 54 se genera en base a una comparación de la forma de onda seno 50 con la forma de onda triangular 52. En una realización, cuando una amplitud instantánea de la forma de onda seno 50 es mayor que una amplitud instantánea de la forma de onda triangular 52, el patrón de PWM 54 es un valor "alto" lógico (o activo). Cuando una amplitud instantánea de la forma de onda seno 50 es menor que una amplitud instantánea de la forma de onda triangular 52, el patrón de PWM 54 es un valor "bajo" lógico (o inactivo). El patrón de PWM 54 así formado es una serie de pulsos.

En una primera realización de la invención, los patrones de PWM para una fase correspondiente, por ejemplo, la fase U_a , de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 están intercalados por medio del controlador maestro 25 y / o cada controlador de sistema eléctrico de turbina eólica 24 (la figura 2). En un ejemplo más específico, las señales portadoras para unos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 individuales tienen las mismas frecuencia y amplitud, pero están intercaladas una en relación con otra a lo largo de un ciclo de señales portadoras. Por ejemplo, cada señal portadora puede estar separada un grado de $360/n$ con respecto al ciclo de portadora a partir de la señal portadora de otro sistema eléctrico de turbina eólica 18, en la que n es el número de sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en el sistema de generación de potencia 10. Para un sistema de generación de potencia 10 con cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18, en una realización, cada señal portadora de una fase del convertidor de lado de red 32 está separada una con respecto a otra 90 grados.

Haciendo referencia a la figura 5, las señales portadoras 152, 252, 352 y 452 de cuatro sistemas de turbina están desplazadas 90 grados a lo largo del ciclo de portadora, y las formas de onda fundamentales 150, 250, 350 y 450

para cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18 son las mismas. En este ejemplo, una primera, una tercera y una cuarta señales portadoras 252, 352 y 452 de los convertidores de lado de red 32 del segundo, el tercer y el cuarto sistemas eléctricos de turbina eólica 18 están desplazadas respectivamente 90 grados, 180 grados, y 270 grados con respecto a una primera señal portadora 152 a lo largo del ciclo de señales portadoras.

5 La figura 6 es un conjunto de gráficas que ilustran los patrones de PWM 154, 254, 354 y 454 para la realización de la figura 5. Cada uno de los cuatro patrones de PWM 154, 254, 354 y 454 es una serie de pulsos con la misma amplitud, y están sustancialmente intercalados 90 grados del ciclo de señales portadoras con respecto a un patrón de PWM adyacente.

10 En determinadas realizaciones, para cada sistema eléctrico de turbina eólica 18, el modulador de PWM 36 respectivo incluye tres circuitos de PLL 40 con un circuito de PLL para cada una de las tres fases y se usa para generar tres patrones de PWM para conmutadores de las tres fases. Los patrones de PWM accionan los conmutadores 34 de los convertidores de lado de red 32 para generar unos pulsos de tensión que se transforman adicionalmente por los transformadores de turbina 22 individuales y, opcionalmente, también pueden filtrarse por bobinas de inductancia y condensadores, para dar una señal de tensión que cumple los requisitos de frecuencia y de tensión del PCC 16. Las señales de tensión de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 a continuación se acoplan en paralelo con el PCC 16. Por lo tanto, una onda seno combinada en el PCC es una suma de las señales de tensión de todos los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 y tiene unos armónicos reducidos.

20 En una segunda realización de la invención, haciendo referencia de nuevo a las figuras 1 y 2, los patrones de PWM para una fase correspondiente, por ejemplo, Ua, del convertidor de lado de red 32 en diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 se desfasan mediante una técnica diferente en la que las señales portadoras para la fase correspondiente de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 son las mismas, y las formas de onda fundamentales para la fase correspondiente de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 se intercalan al ser desplazadas una con otra de manera uniforme a lo largo de un ciclo de forma de onda fundamental un grado de $60/n$, en la que n es el número de sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en el sistema de generación de potencia 10. Los patrones de PWM desfasados accionan los conmutadores 34 y generan una pluralidad de pulsos de tensión. Los transformadores de turbina 22 pueden usarse para transformar los pulsos de tensión y restablecer las fases desplazadas entre los sistemas eléctricos de turbina eólica 18.

30 En una realización específica, los circuitos de PLL 40 de cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 están eléctricamente acoplados con el PCC 16 para obtener una referencia global (es decir, la misma señal portadora y la misma forma de onda fundamental). Las formas de onda fundamentales a continuación están desplazadas entre los sistemas eléctricos de turbina eólica 18. La figura 7 muestra una realización de este tipo en la que las señales portadoras 162, 262, 362 y 462 y las formas de onda fundamentales 160, 260, 360 y 460 para una fase, por ejemplo, la fase Ua, de cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18 se generan a partir de la referencia global. Las señales portadoras 162, 262, 362 y 462 son las mismas. Las formas de onda fundamentales 160, 260, 360 y 460 están desplazadas a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental 15 grados entre unos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 adyacentes.

40 Haciendo referencia a la figura 8, los patrones de PWM 164, 264, 364 y 464 para una fase de cada uno de los cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18 se obtienen mediante una comparación de las formas de onda fundamentales 160, 260, 360 y 460 con las señales portadoras 162, 262, 362 y 462. Cada uno de los patrones de PWM 164, 264, 364 y 464 es una serie de pulsos con una simetría y amplitud común y con unos anchos ligeramente diferentes de pulsos individuales. Los patrones de pulsos están desplazados a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental 15 grados. En la realización a modo de ejemplo, las formas de onda fundamentales 260, 360 y 460 del segundo, el tercer y el cuarto sistemas eléctricos de turbina eólica 18 están desplazadas respectivamente 15 grados, 30 grados y 45 grados a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental con respecto a la primera forma de onda fundamental 160 del primer sistema eléctrico de turbina eólica 18.

50 Los patrones de PWM desfasados accionan los conmutadores 34 de los convertidores de lado de red 32 y generan una pluralidad de pulsos de tensión, y, en una realización, cada transformador de turbina 22 transforma los pulsos de tensión y restablece el desfase de PWM. En una realización que es correspondiente con el desfase de PWM que se muestra en la figura 8, el transformador de turbina 22 del primer sistema eléctrico de turbina eólica 18 es, por ejemplo, un transformador en estrella - estrella y la forma de onda no está desplazada. Los transformadores de turbina 22 del segundo, el tercer y el cuarto sistemas eléctricos de turbina eólica 18 tienen respectivamente un desfase de -15, -30 y -45 grados con respecto a la primera forma de onda a lo largo del ciclo de patrón de PWM. Los transformadores de turbina 22 del segundo, el tercer y el cuarto sistemas eléctricos de turbina eólica 18 son unos transformadores de desfase, por ejemplo, transformadores en zigzag o transformadores configurados en triángulo ampliado, para restablecer el ángulo desplazado en las formas de onda fundamentales. Los grados desplazados de las formas de onda de los transformadores de turbina 22 están en correlación con los grados desplazados por PWM, es decir, los grados de desplazamiento de forma de onda fundamental. Después del desplazamiento por PWM y el restablecimiento, solo los armónicos de números de orden $N \cdot 6 \cdot t \pm 1$ quedan sin cancelar, en la que $t = 1, 2, 3 \dots$, y N es el número de convertidores de lado de red 32, es decir, el número de sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en el sistema de generación de potencia 10.

5 En una realización alternativa, tal como se ha analizado en lo que antecede con respecto a la figura 2, los circuitos de PLL 40 de cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 están eléctricamente acoplados con el lado de tensión inferior 21 de cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 para conseguir una referencia local correspondiente. Las señales portadoras y las formas de onda fundamentales de un sistema eléctrico de turbina eólica 18 diferente pueden tener unas fases ligeramente diferentes en tales realizaciones de referencia local.

Tal como se muestra en la figura 9, las señales portadoras 172, 272, 372, 472 y las formas de onda fundamentales 170, 270, 370 y 470 se generan en base a unas referencias locales de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18. Las formas de onda fundamentales 170, 270, 370 y 470 están desplazadas a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental 15 grados entre unos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 adyacentes.

10 En determinadas realizaciones, los patrones de PWM para las tres fases Ua, Ub y Uc de los convertidores de lado de red 32 en el mismo sistema eléctrico de turbina eólica 18 son los mismos. En una realización, si una relación de frecuencias entre la señal portadora y la forma de onda fundamental es igual a $3 * N$, en la que N es un número entero, las formas de onda fundamentales para las tres fases están desplazadas 120 grados una con respecto a otra a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental y se comparan con la misma señal portadora de tal modo que los patrones de PWM resultantes para las tres fases son los mismos. Las tensiones de armónicos a las frecuencias de portadora son unas formas de onda de modo común, por lo tanto estas no contribuyen a corriente de modo diferencial de salida alguna. Por lo tanto, los armónicos con unas frecuencias de $3 * N$ veces de la forma de onda fundamental se cancelan y no se muestran en el PCC 16.

20 En otra realización, si la relación de frecuencias entre la señal portadora y la forma de onda fundamental no es igual a $3 * N$, con el fin de obtener el mismo patrón de PWM para las tres fases en el mismo sistema eléctrico de turbina eólica 18, las señales portadoras de tres fases están desplazadas $\frac{2\pi}{3}$ a lo largo del ciclo fundamental una con respecto a otra. La señal portadora desplazada se compara con las formas de onda fundamentales de las tres fases que están desfasadas a lo largo del ciclo de forma de onda fundamental para conseguir los mismos patrones de PWM para las tres fases.

25 En otra realización, los patrones de PWM de diferentes sistemas eléctricos de turbina eólica 18 están tanto intercalados como desfasados, y los transformadores de turbina restablecen fases desplazadas en las formas de onda de salida. Hasta cierto punto, la tercera realización es una combinación de las realizaciones que se han descrito en lo que antecede con respecto a las figuras 5 - 6 y 7 - 9 y, por lo tanto, se omite en lo sucesivo en el presente documento una descripción similar. Tal como se ha descrito en lo que antecede con referencia a la figura 8, mediante desplazamiento por PWM y el restablecimiento mediante transformador entre los cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18, solo siguen existiendo los armónicos de órdenes $N \cdot 6 \cdot t \pm 1$, que pueden reducirse adicionalmente mediante la intercalación de señales portadoras.

35 En una realización específica, la señal portadora entre los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 está intercalada $t * 60 / N$ grados, en la que N es el número de sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en el sistema de generación de potencia 10 y t es un número entero. Para el sistema de generación de potencia 10 a modo de ejemplo en la figura 1 con cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18, las señales portadoras entre los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 pueden intercalarse $15 * t$ grados.

40 En un sistema de generación de potencia 10 con al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18, cada uno del armónico de orden k de los al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 es un vector de armónicos \vec{H}_k que incluye una componente de amplitud y una componente de ángulo de fase Φ_{i_k} . En una realización, una cancelación limpia de armónicos de un orden k determinado puede obtenerse al hacer que una suma de los vectores de armónicos de los al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 sea nula. En una realización, las componentes de amplitud del armónico de orden k de los al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 son sustancialmente las mismas.

45 En determinadas realizaciones, la forma de onda fundamental se expresa como:

$$Q_m \cos(k_m \omega t + \Phi_{i_m}),$$

en la que Q_m es una amplitud de la forma de onda fundamental; Φ_{i_m} es un ángulo de fase de la forma de onda fundamental; k_m es un orden de frecuencia de la forma de onda fundamental (y un valor por defecto para k_m es 1), y $\omega = 2 * \pi * 60$. La forma de onda de portadora triangular se expresa como:

50
$$\frac{\pi}{2} \cos(k_c \omega t + \Phi_{i_c}),$$

en la que $\frac{\pi}{2}$ es una amplitud de la forma de onda de portadora triangular; Φ_{i_c} es un ángulo de fase de la forma de onda de portadora triangular a lo largo del ciclo de forma de onda de portadora triangular; k_c es el orden de

frecuencia de la forma de onda de portadora triangular; y $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 60$.

Para el armónico de orden k, k se somete a la ecuación 1:

$$k = m \cdot k_c + n \cdot k_m \quad \text{Ecuación 1}$$

en la que m y n son respectivamente números enteros.

- 5 En una realización, el ángulo de fase del armónico de orden k de los al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 puede expresarse, por simplicidad, como una matriz en la siguiente ecuación 2:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_k_1} \\ \text{Phi_k_2} \\ \dots\dots \\ \text{Phi_k_N} \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_c_1} \\ \text{Phi_c_2} \\ \dots\dots \\ \text{Phi_c_N} \end{bmatrix} + n \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_m_1} \\ \text{Phi_m_2} \\ \dots\dots \\ \text{Phi_m_N} \end{bmatrix} + k \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 60/N \\ \dots\dots \\ (N-1) \cdot 60/N \end{bmatrix} + \text{Seq}(k) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -60/N \\ \dots\dots \\ -(N-1) \cdot 60/N \end{bmatrix}$$

- Ecuación 2

- 10 en la que Phi_k_1, Phi_k_2, Phi_k_N son respectivamente ángulos de fase del armónico de orden k a partir del primer, el segundo y el número N sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en el sistema de generación de potencia 10. Los primeros dos términos en el miembro derecho de la ecuación se determinan mediante la modulación de la intercalación de portadoras de PWM, el tercer término se acciona mediante un desplazamiento de forma de onda fundamental de PWM, y el cuarto término es aportado por un restablecimiento de fase mediante transformador. Seq(k) es la secuencia de fases del armónico de orden k con respecto a la forma de onda fundamental en el PCC. Para cada uno de los sistemas eléctricos de turbina eólica 18, las tres fases Ua, Ub y Uc de la forma de onda fundamental en el PCC 16 es por consiguiente:

$$U_a = U \cdot \text{sen } \omega t$$

$$U_b = U \cdot \text{sen } (\omega t - 120^\circ)$$

$$U_c = U \cdot \text{sen } (\omega t + 120^\circ)$$

- 20 Para el armónico de orden k, las tensiones de armónicos trifásicas son respectivamente:

$$U_{ka} = U_k \cdot \text{sen } k\omega t$$

$$U_{kb} = U_k \cdot \text{sen } (k\omega t - k120^\circ)$$

$$U_{kc} = U_k \cdot \text{sen } (k\omega t + k120^\circ)$$

- 25 Seq(k) = 1 representa que el armónico de orden k tiene una secuencia positiva con respecto a la forma de onda fundamental; Seq(k) = -1 representa que el armónico de orden k tiene una secuencia negativa con respecto a la forma de onda fundamental; y Seq(k) = 0 representa que el armónico de orden k tiene una secuencia nula. Los armónicos con una secuencia nula no se mostrarán en el PCC 16. En el sistema de generación de potencia 10 a modo de ejemplo con cuatro sistemas eléctricos de turbina eólica 18, la ecuación 2 es tal como sigue:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_k_1} \\ \text{Phi_k_2} \\ \text{Phi_k_3} \\ \text{Phi_k_4} \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_c_1} \\ \text{Phi_c_2} \\ \text{Phi_c_3} \\ \text{Phi_c_4} \end{bmatrix} + n \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_m_1} \\ \text{Phi_m_2} \\ \text{Phi_m_3} \\ \text{Phi_m_4} \end{bmatrix} + k \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 60 \end{bmatrix} + \text{Seq}(k) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ -30 \\ -60 \end{bmatrix}$$

- 30 La matriz de ángulos de fase de los armónicos en $k = m \cdot k_c + n \cdot k_m$ se simplifica como la ecuación 3 en lo sucesivo:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_k_1} \\ \text{Phi_k_2} \\ \text{Phi_k_3} \\ \text{Phi_k_4} \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_c_1} \\ \text{Phi_c_2} \\ \text{Phi_c_3} \\ \text{Phi_c_4} \end{bmatrix} + n \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_m_1} \\ \text{Phi_m_2} \\ \text{Phi_m_3} \\ \text{Phi_m_4} \end{bmatrix} + (m \cdot k_c + n \cdot k_m) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} + \text{Seq}(k) \cdot \begin{bmatrix} -0 \\ -15 \\ -30 \\ -45 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 3}$$

- 35 Para el armónico de orden k, se determinan el segundo, el tercer y el cuarto términos de la ecuación 3, y solo el primer término que concierne al ángulo de fase intercalado de las señales portadoras puede ajustarse. En una realización, los ángulos de fase de portadora a lo largo del ciclo de señales portadoras de los cuatro convertidores que van a ajustarse se encuentran en la forma de la ecuación 4 en lo sucesivo:

$$\begin{bmatrix} Phi_c_1 \\ Phi_c_2 \\ Phi_c_3 \\ Phi_c_4 \end{bmatrix} = k_{c_adj} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix}$$

Ecuación 4

en la que “ k_{c_adj} ” es un coeficiente del ajuste de ángulo de fase de portadora entre los sistemas eléctricos de turbina eólica 18.

5 En una realización, el sistema eléctrico se encuentra en unas condiciones de equilibrado de potencia en las que los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 tienen sustancialmente la misma tensión de CC en las barras colectoras de CC 31 y tienen las mismas salidas de tensión en el PCC 16, y usan la misma señal portadora para las tres fases Ua, Ub y Uc en cada sistema eléctrico de turbina eólica 18. En la presente realización, $k = m \cdot k_c + n \cdot k_m$, y $Seq(k)$ se determina solo mediante n. Por lo tanto, de acuerdo con las ecuaciones 3 y 4, la ecuación 3 puede simplificarse en la ecuación 5 en lo sucesivo.

$$\begin{bmatrix} Phi_k_1 \\ Phi_k_2 \\ Phi_k_3 \\ Phi_k_4 \end{bmatrix} = m \cdot (k_{c_adj} + k_c) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} + (n - Seq(n)) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix}$$

Ecuación 5

10 Por consiguiente, en una realización con referencias a las figuras 10 y 11, un armónico total en el orden k se cancela cuando una suma de los vectores de armónicos \vec{H}_{k_1} , \vec{H}_{k_2} , \vec{H}_{k_3} , y \vec{H}_{k_4} del primer, el segundo, el tercer y el cuarto sistemas eléctricos de turbina eólica 18 es nula. En una realización, debido a que las componentes de amplitud de los armónicos \vec{H}_{k_1} , \vec{H}_{k_2} , \vec{H}_{k_3} , y \vec{H}_{k_4} son sustancialmente las mismas, mediante la selección de un coeficiente k_{c_adj} apropiado para ajustar las componentes de fase de los vectores de armónicos de acuerdo con las ecuaciones 1 y 5, la suma de vectores de armónicos puede impulsarse hacia cero.

15 En un ejemplo, para cancelar los 25-ésimos armónicos del sistema de generación de potencia 10 ($k = 25$) cuando una frecuencia de la forma de onda fundamental es 60 Hz y para una frecuencia de la señal portadora es 780 Hz ($k_c = 13$), la ecuación $k = m \cdot k_c + n \cdot k_m$ se obtiene como $25 = 13m + n$. Entonces, un grupo de valores para “m” y “n” es: $m = 2$, $n = -1$. Por consiguiente “secuencia (n)” en la ecuación 5 es secuencia $(-1) = -1$. Por lo tanto, la ecuación 5 se obtiene como:

$$\begin{bmatrix} Phi_k_1 \\ Phi_k_2 \\ Phi_k_3 \\ Phi_k_4 \end{bmatrix} = m \cdot (k_{c_adj} + k_c) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} + (n - Seq(n)) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} = (k_{c_adj} + 13) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 30 \\ 60 \\ 90 \end{bmatrix}$$

25 Por lo tanto, en una realización, cuando $k_{c_adj} = 3$, Phi_k_1 , Phi_k_2 , Phi_k_3 , y Phi_k_4 son respectivamente 0 grados, 450 grados, 900 grados, y 1350 grados, lo que constituye el diagrama de vectores de la figura 9, y los 25-ésimos armónicos se cancelan.

En otra realización, haciendo referencia a la figura 12, se muestra un diagrama vectorial para la cancelación de un armónico de orden k para un sistema de generación de potencia 10 que tiene cinco sistemas eléctricos de turbina eólica 18. Esto puede obtenerse mediante la selección de un coeficiente de ángulo de fase de portadora apropiado para obtener una suma vectorial nula de los cinco sistemas eléctricos de turbina eólica 18.

30 Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, en determinadas realizaciones, el sistema de generación de potencia 10 comprende un sistema de captación de media tensión 80 que es una red de múltiples puertas que incluye una pluralidad de entradas que acoplan eléctricamente los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 y una única salida que está eléctricamente acoplada con el PCC 16. Cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 está eléctricamente conectado con el sistema de captación de media tensión (MVCS) 80 mediante, por ejemplo, cables de potencia de media tensión. Una matriz de impedancias entre cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 y el PCC 16 causada por el MVCS 80 comprende elementos de resistencia, elementos capacitivos y / o elementos inductivos, cada uno de los cuales es sustancialmente dependiente de la frecuencia. La matriz de impedancias da lugar a un desfase tanto a la frecuencia fundamental como en el armónico de orden k entre señales de tensión en el lado de alta tensión 23 del transformador de turbina 22 y en el PCC 16. Puede hacerse referencia respectivamente a los ángulos desplazados totales θ_1 y θ_k causados por la matriz de impedancias a la frecuencia fundamental y el armónico de orden k como en las ecuaciones 6 y 7 en lo sucesivo:

$$\begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{12} \\ \dots \\ \theta_{1N} \end{bmatrix} = \text{Phi_pcc} - \begin{bmatrix} \text{Phi_m_1} \\ \text{Phi_m_2} \\ \dots \\ \text{Phi_m_N} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\begin{bmatrix} \theta_{k1} \\ \theta_{k2} \\ \dots \\ \theta_{kN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Phi_k_pcc_1} \\ \text{Phi_k_pcc_2} \\ \dots \\ \text{Phi_k_pcc_N} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Phi_k_1} \\ \text{Phi_k_2} \\ \dots \\ \text{Phi_k_N} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 7}$$

5 en las que, Phi_pcc es el ángulo de fase de la señal de tensión a la frecuencia fundamental en el PCC 16, y Phi_m_N es el ángulo de fase de la señal de tensión a la frecuencia fundamental en el lado de alta tensión 23 del transformador de turbina 22. Phi_k_pcc_N es el ángulo de fase de la señal de tensión a la frecuencia de armónico de orden k en el PCC 16, y Phi_k_N es el ángulo de fase de la señal de tensión a la frecuencia de armónico de orden k en el lado de alta tensión 23 del transformador de turbina 22.

10 De acuerdo con las ecuaciones 3, 6, y 7, con el fin de conseguir una suma vectorial nula del armónico de orden k en el PCC 16, la matriz de ángulos de fase de los armónicos en $k = m \cdot k_c + n \cdot k_m$ para los cuatro sistemas de turbina eólica 18 a modo de ejemplo incluye los ángulos desplazados causados por la matriz de impedancias del MVCS 80. La matriz de ángulos de fase en el PCC 16 se expresa entonces como:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_k_pcc_1} \\ \text{Phi_k_pcc_2} \\ \text{Phi_k_pcc_3} \\ \text{Phi_k_pcc_4} \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_c_1} \\ \text{Phi_c_2} \\ \text{Phi_c_3} \\ \text{Phi_c_4} \end{bmatrix} + n \cdot (\text{Phi_pcc} - \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{12} \\ \theta_{13} \\ \theta_{14} \end{bmatrix}) + (m \cdot k_c + n \cdot k_m) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} \\ + \text{Seq}(k) \cdot \begin{bmatrix} -0 \\ -15 \\ -30 \\ -45 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \theta_{k1} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \end{bmatrix}$$

Y puede simplificarse adicionalmente como:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_k_pcc_1} \\ \text{Phi_k_pcc_2} \\ \text{Phi_k_pcc_3} \\ \text{Phi_k_pcc_4} \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} \text{Phi_c_1} \\ \text{Phi_c_2} \\ \text{Phi_c_3} \\ \text{Phi_c_4} \end{bmatrix} + m \cdot k_c \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} + (n - \text{Seq}(n)) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 15 \\ 30 \\ 45 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \theta_{k1} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \end{bmatrix} - n \cdot \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{12} \\ \theta_{13} \\ \theta_{14} \end{bmatrix}$$

15 Por consiguiente, una matriz de factores de corrección para los ángulos intercalados Phi_c_cor_N de las señales portadoras se muestra como la ecuación 8 tal como en lo sucesivo:

$$\begin{bmatrix} \text{Phi_c_cor_1} \\ \text{Phi_c_cor_2} \\ \text{Phi_c_cor_3} \\ \text{Phi_c_cor_4} \end{bmatrix} = - \left(\begin{bmatrix} \theta_{k1} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \\ \theta_{k2} \end{bmatrix} - n \cdot \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{12} \\ \theta_{13} \\ \theta_{14} \end{bmatrix} \right) / m \quad \text{Ecuación 8}$$

20 Los ángulos desplazados θ_1 y θ_k para cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 dependen de la matriz de impedancias del MVCS 80 a la frecuencia fundamental y la frecuencia de armónico de orden k. En determinadas realizaciones, el sistema de generación de potencia 10 comprende además un dispositivo de medición de impedancias para medir la matriz de impedancias del MVCS 80 en un intervalo de frecuencias, que incluye la

frecuencia fundamental y las frecuencias de armónicos, mediante cualquier procedimiento conocido. En una realización a modo de ejemplo, la matriz de impedancias del MVCS 80 puede medirse mediante la transmisión de una tensión explorada en una pluralidad de intervalos de frecuencias y el registro de las impedancias de respuesta en los intervalos de frecuencias.

5 En determinadas realizaciones, los elementos de resistencia, los elementos capacitivos y/o los elementos inductivos de la matriz de impedancias del MVCS 80 pueden cambiarse con el tiempo, y los controladores de turbina 24 y/o el controlador maestro 25 pueden comprender un sistema de control de lazo cerrado. El sistema de control de lazo cerrado está conectado con un dispositivo de medición de impedancias, y el control de los ángulos intercalados de las señales portadoras de cada sistema de turbina eólica 18 está basado en la matriz de impedancias medida del MVCS 80.

10 En una realización, con referencia a la figura 1, el sistema de conversión de potencia 20 de cada sistema eléctrico de turbina eólica 18 puede incluir una pluralidad de hilos (que no se muestran), comprendiendo cada uno un convertidor de lado de generador, una barra colectora de CC, y un convertidor de lado de red. Los hilos dentro de un sistema de conversión de potencia 20 están conectados en paralelo y unidos al transformador de turbina 22. En una realización, las señales portadoras y las formas de onda fundamentales para cada convertidor de lado de red dentro de un sistema eléctrico de turbina eólica 18 son las mismas.

15 En una realización, el parque eólico 11 comprende una pluralidad de grupos de turbinas eólicas, y cada grupo comprende al menos dos turbinas eólicas que tienen respectivamente unos convertidores de lado de red. Las al menos dos turbinas eólicas pueden estar, o pueden no estar, físicamente cerca una de otra y pueden tener, o pueden no tener, una potencia asignada similar. En una realización específica, las al menos dos turbinas eólicas dentro de un grupo están controladas por los controladores de turbina individuales u, opcionalmente, por un controlador de grupo para intercalar señales portadoras, formas de onda fundamentales, o una combinación de señales portadoras y formas de onda fundamentales de las al menos dos turbinas eólicas en el grupo para generar unos patrones de PWM intercalados respectivamente para los convertidores de lado de red de las al menos dos turbinas eólicas. Por lo tanto, la salida de cada grupo cumple el requisito de armónicos en el PCC 16.

20 En otra realización específica, al menos dos turbinas eólicas dentro de un grupo están controladas por los controladores de turbina individuales u, opcionalmente, por el controlador maestro o un controlador de grupo para tener un desfase en las formas de onda fundamentales de un grado de $60 / N$, en la que N es el número de turbinas eólicas en el grupo, y usar unos transformadores de turbina en zigzag para restablecer los ángulos desplazados. Unas turbinas eólicas en diferentes grupos tienen unas señales portadoras intercaladas. Mientras que en aún otra realización específica, al menos dos turbinas eólicas dentro de un grupo tienen unas señales portadoras intercaladas. Unas turbinas eólicas en diferentes grupos tienen un desfase en la forma de onda fundamental de un grado de $60 / M$, en la que M es el número de grupos en el parque eólico 11, y usan los transformadores de turbina en zigzag 22 para restablecer los ángulos desplazados.

25 Haciendo referencia a la figura 13, en una realización, el parque eólico 11 comprende al menos un sistema de subestación 100 que está conectado con la red eléctrica 14 en el PCC 16. El sistema de subestación 100 comprende una subestación 101 y unos sistemas alimentadores 108 y 110 que están eléctricamente acoplados con una barra colectora común 103 de la subestación 101 en unos puntos de conexión eléctrica tales como puntos de gestión de subestación (SMP) 102 y 104. En una realización, la subestación 101 comprende un transformador elevador 112 para transformar la media tensión en una tensión alta. En determinadas realizaciones, el parque eólico 10 puede comprender más sistemas de subestación que están conectados en paralelo en el PCC 16, y cada sistema de subestación puede comprender al menos un sistema alimentador.

30 En una realización, cada uno de los sistemas alimentadores 108 y 110 comprende una pluralidad de sistemas eléctricos de turbina eólica 18 que están, por ejemplo, conectados en cadena de tipo margarita, bifurcados, o conectados de forma dendrítica - radial con la subestación 101 a través de uno o más MVCS de múltiples puertas 80. En una realización, un sistema de control para controlar los sistemas eléctricos de turbina eólica 18 que están conectados a través del mismo MVCS 80 se intercala, y/o se desfasa (se restablece mediante transformador) para que los convertidores de lado de red consigan una reducción de armónicos en un punto de conexión eléctrica que es una salida del MVCS 80, con referencia al control de reducción de armónicos para el PCC 16 en lo que antecede. El punto de conexión eléctrica puede ser cualquier punto entre la salida del MVCS 80 y la barra colectora común 103 de la subestación 101, por ejemplo, los puntos 102, 114 del sistema alimentador 108.

En determinadas realizaciones, cada sistema alimentador 108, 110 puede comprender una pluralidad de grupos que están conectados mediante el mismo MVCS 80, por ejemplo, los grupos 120 y 122, ambos conectados con el mismo MVCS 80 a través de los puntos de conexión eléctrica 116 y 118.

35 Cada grupo 120, 122 comprende al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica 18 que pueden estar, o pueden no estar, físicamente cerca uno de otro y pueden tener, o pueden no tener, una potencia asignada similar. En una realización específica, al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica dentro de un grupo están controlados por los controladores de turbina individuales u, opcionalmente, por un controlador de grupo para intercalar señales portadoras, formas de onda fundamentales, o una combinación de señales portadoras y formas de onda

fundamentales de los por sistemas eléctricos de turbina eólica 18 en un grupo para generar unos patrones de PWM intercalados respectivamente para los convertidores de lado de red de los sistemas eléctricos de turbina eólica. Por lo tanto, la salida de cada grupo cumple los requisitos de armónicos en los puntos de conexión eléctrica 116 y 118.

5 En otra realización específica, al menos dos turbinas eólicas dentro de un grupo están controladas por los controladores de turbina individuales u, opcionalmente, por el controlador maestro o un controlador de grupo para tener un desfase en las formas de onda fundamentales de un grado de $60 / N$, en la que N es el número de turbinas eólicas en el grupo, y usar unos transformadores de turbina en zigzag para restablecer los ángulos desplazados. Unas turbinas eólicas en diferentes grupos tienen unas señales portadoras intercaladas. Mientras que en aún otra realización específica, las al menos dos turbinas eólicas dentro de un grupo tienen unas señales portadoras intercaladas. Unas turbinas eólicas en diferentes grupos tienen un desfase en la forma de onda fundamental de un grado de $60 / M$, en la que M es el número de grupos en el parque eólico 11, y usan los transformadores de turbina en zigzag 22 para restablecer los ángulos desplazados.

15 En determinadas realizaciones, un sistema eléctrico de parque eólico incluye una referencia de tiempo global para cada sistema eléctrico de turbina eólica 18. En una realización, la referencia de tiempo global se proporciona de acuerdo con el protocolo de tiempo de precisión (PTP) o un protocolo IEEE - 1588. En determinadas realizaciones, el protocolo PTP o IEEE - 1588 se distribuye a los controladores de turbina 24 individuales por medio de enlaces de comunicación, que pueden implementarse en soporte físico, soporte lógico, o combinaciones de los mismos.

20 A pesar de que se han analizado sistemas de turbina eólica en lo que antecede para fines de ejemplo, pueden usarse adicionalmente o como alternativa otras formas de energía renovable, tales como sistemas fotovoltaicos. En una realización, un sistema fotovoltaico comprende una pluralidad de sistemas eléctricos fotovoltaicos que están conectados en paralelo para suministrar potencia eléctrica a la red eléctrica 14 en el PCC 16.

25 Haciendo referencia a la figura 14, que es un diagrama de bloques de un sistema eléctrico fotovoltaico 82 a modo de ejemplo de acuerdo con una realización divulgada en el presente documento, cada sistema eléctrico fotovoltaico 82 incluye una barra colectora de CC 86 que recibe una corriente continua a partir de un módulo fotovoltaico 84, un convertidor de lado de red 88 que comprende una pluralidad de conmutadores 94 para transmitir corriente CC en la barra colectora de CC 86 para dar corrientes alternas, y un transformador 90 para transformar la corriente alterna en una tensión constante y una determinada frecuencia antes de que la corriente alterna se suministre a la red eléctrica 14 en el PCC 16.

30 Cada sistema eléctrico fotovoltaico 82 incluye un modulador de PWM 92 para obtener una forma de onda fundamental y una señal portadora, usando la forma de onda fundamental y la señal portadora para generar un patrón de PWM, y para proporcionar el patrón de PWM a un convertidor de lado de red respectivo para accionar los conmutadores 94 del convertidor de lado de red 90 respectivo. Los moduladores de PWM 92 de un sistema eléctrico fotovoltaico 82 diferente están configurados para intercalar señales portadoras, formas de onda fundamentales, o una combinación de señales portadoras y formas de onda fundamentales de los al menos dos sistemas eléctricos de turbina eólica para generar unos patrones de PWM intercalados respectivamente para los convertidores de lado de red 90 entre diferentes sistemas eléctricos fotovoltaicos 82 para reducir los armónicos en el PCC 16.

35 Ha de entenderse que no necesariamente la totalidad de tales objetos o ventajas que se han descrito en lo que antecede puede lograrse de acuerdo con cualquier realización particular. Por lo tanto, por ejemplo, los expertos en la materia reconocerán que los sistemas y las técnicas que se describen en el presente documento pueden realizarse o llevarse a cabo de una forma que logre u optimice una ventaja o grupo de ventajas tal como se enseñan en el presente documento sin lograr necesariamente otros objetos o ventajas tal como puedan enseñarse o sugerirse en el presente documento.

40 Además, el experto reconocerá la intercambiabilidad de diversas características a partir de diferentes realizaciones. Las diversas características que se describen, así como otros equivalentes conocidos para cada característica, pueden mezclarse y ponerse en correspondencia por un experto en la presente materia para construir sistemas y técnicas adicionales de acuerdo con principios de la presente divulgación.

45 A pesar de que solo se han ilustrado y descrito en el presente documento determinadas características de la invención, a los expertos en la materia se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios. Por lo tanto, ha de entenderse que las reivindicaciones adjuntas tienen por objeto cubrir la totalidad de tales modificaciones y cambios según caigan dentro del ámbito de la misma.

50

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación de potencia (10) que comprende:
- 5 al menos dos sistemas eléctricos (18) conectados por medio de un sistema de captación de media tensión (80) con un punto de conexión eléctrica (16), siendo dicho punto de conexión eléctrica (16) un punto de conexión común con una red (14), comprendiendo cada sistema eléctrico (18) un sistema de conversión de potencia (20) que comprende un convertidor de CC a CA (32) respectivo que incluye una pluralidad de conmutadores (34) para convertir una potencia en corriente continua en una potencia en corriente alterna; y
- 10 un sistema de control (24, 25) que incluye al menos dos moduladores de modulación por ancho de pulsos (36), obteniendo cada modulador por ancho de pulsos (36) una forma de onda fundamental para generar un patrón de ancho de pulsos y para proporcionar el patrón de ancho de pulsos a un convertidor de CC a CA (32) respectivo para accionar los conmutadores del convertidor de CC a CA (32) respectivo;
- en el que el sistema de control (24, 25) está configurado para intercalar las formas de onda fundamentales de los al menos dos sistemas eléctricos para generar unos patrones de ancho de pulsos intercalados respectivamente para los al menos dos convertidores de CC a CA (32),
- 15 en el que cada sistema de conversión de potencia (20) comprende además un convertidor del lado del generador (30) respectivo para convertir una potencia en corriente alterna a partir de un generador de turbina eólica (28) en una potencia en corriente continua; y
- en el que el sistema de control comprende además un controlador maestro (25) conectado con el punto de conexión eléctrica (16), **caracterizado porque:**
- 20 los moduladores por ancho de pulsos (36) adicionalmente obtienen una señal portadora y usan la forma de onda fundamental y la señal portadora para generar un patrón de ancho de pulsos, y el sistema de control (24, 25) está configurado además para intercalar las formas de onda fundamentales y señales portadoras o una combinación de las formas de onda fundamentales y de señales portadoras.
2. El sistema de generación de potencia (10) de la reivindicación 1, en el que el punto de conexión eléctrica (16) es un punto de conexión de dichos al menos dos sistemas eléctricos (18) acoplados en paralelo.
3. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que el sistema de control (24, 25) incluye al menos dos controladores de turbina (24) respectivamente para los sistemas eléctricos (18).
4. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que la señal portadora comprende una forma de onda triangular.
- 30 5. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que cada modulador por ancho de pulsos (36) está configurado para recibir una señal de referencia a partir del punto de conexión eléctrica (16) para generar la señal portadora y la forma de onda fundamental.
6. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que cada modulador por ancho de pulsos (36) está configurado para recibir una señal de referencia a partir del convertidor del lado de red (32) respectivo para generar la señal portadora y la forma de onda fundamental.
- 35 7. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que las formas de onda fundamentales de los al menos dos sistemas eléctricos (18) están desplazadas a lo largo de un ciclo de forma de onda fundamental una con respecto a otra un grado de $60/n$, y n es el número de sistemas eléctricos del sistema de generación de potencia (10).
- 40 8. El sistema de generación de potencia (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que cada convertidor del lado de red (32) está configurado para recibir corriente continua a partir de un módulo fotovoltaico (84).

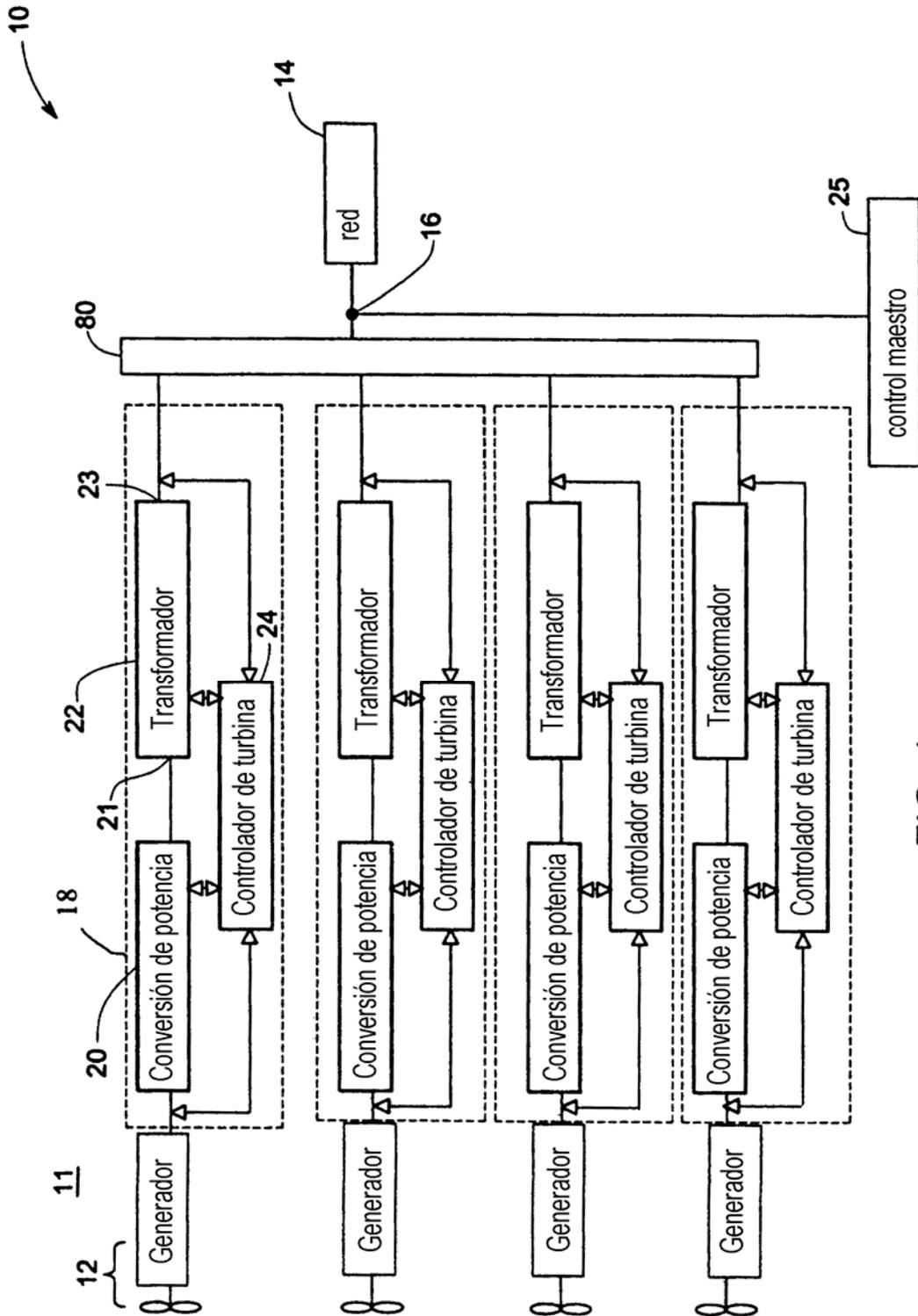


FIG. 1

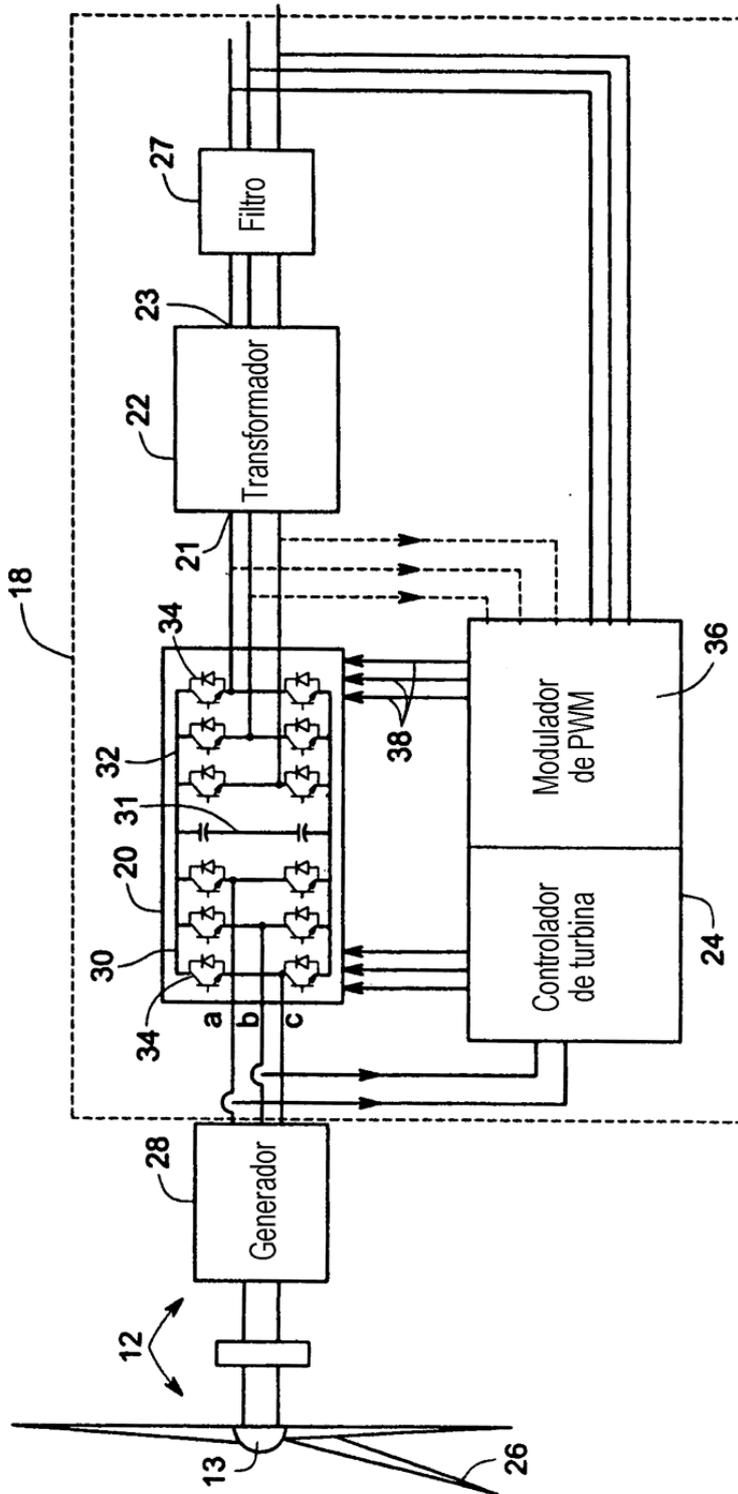


FIG. 2

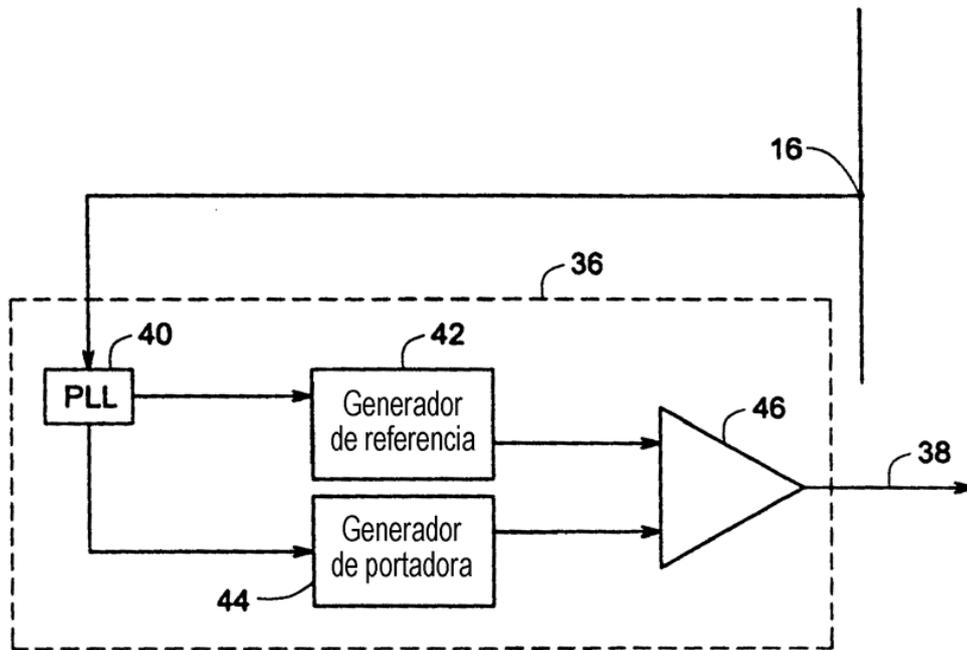


FIG. 3

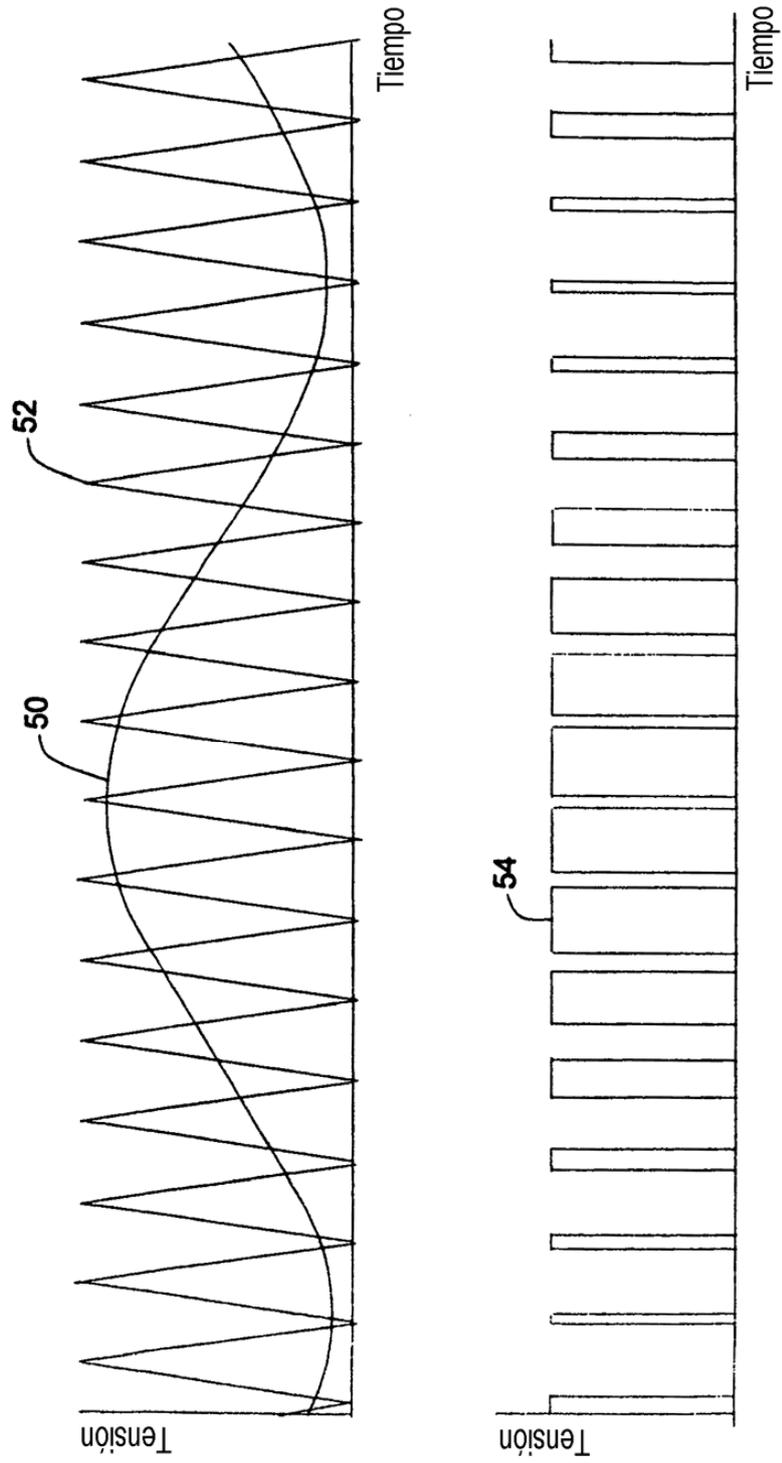


FIG. 4

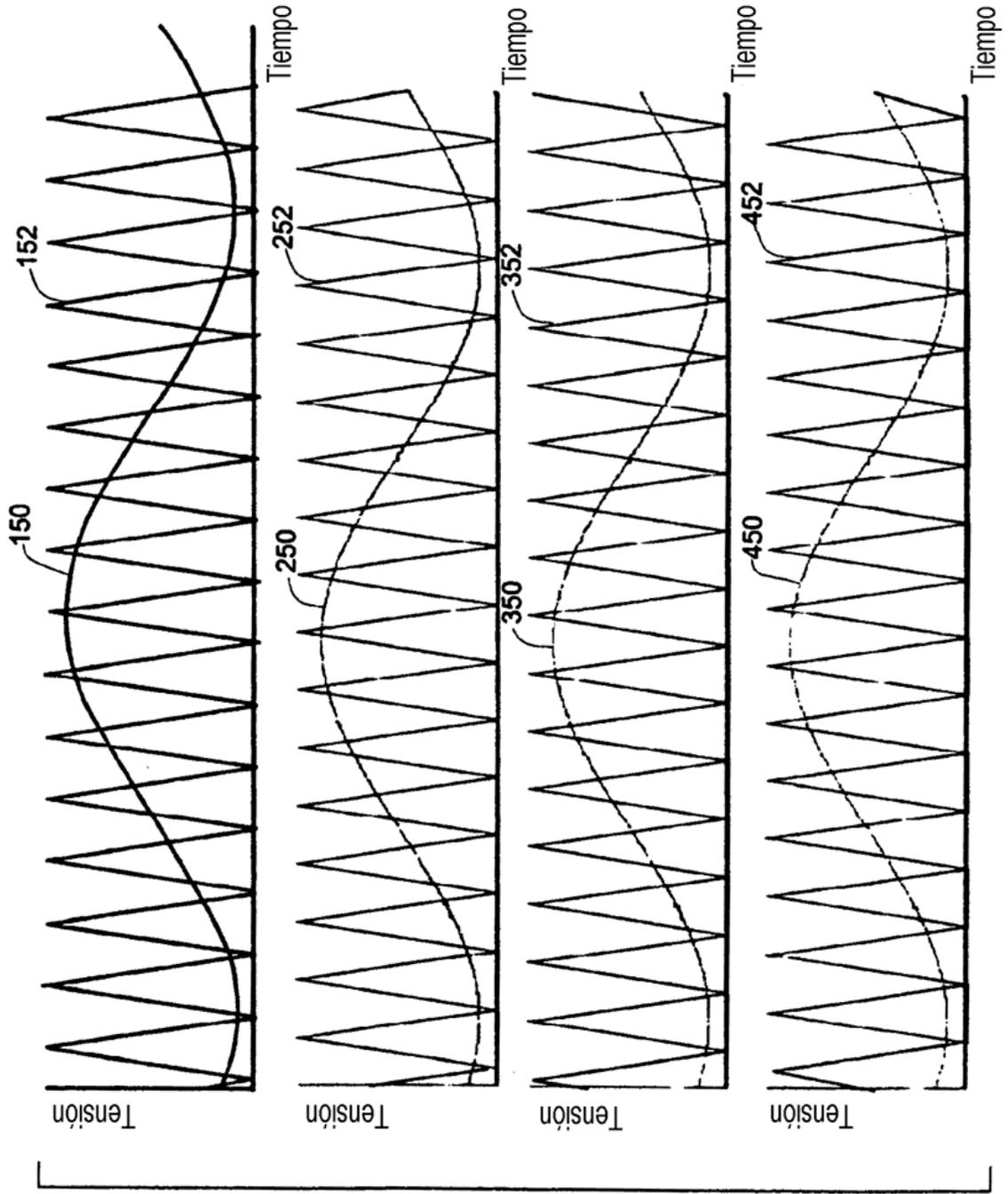


FIG. 5

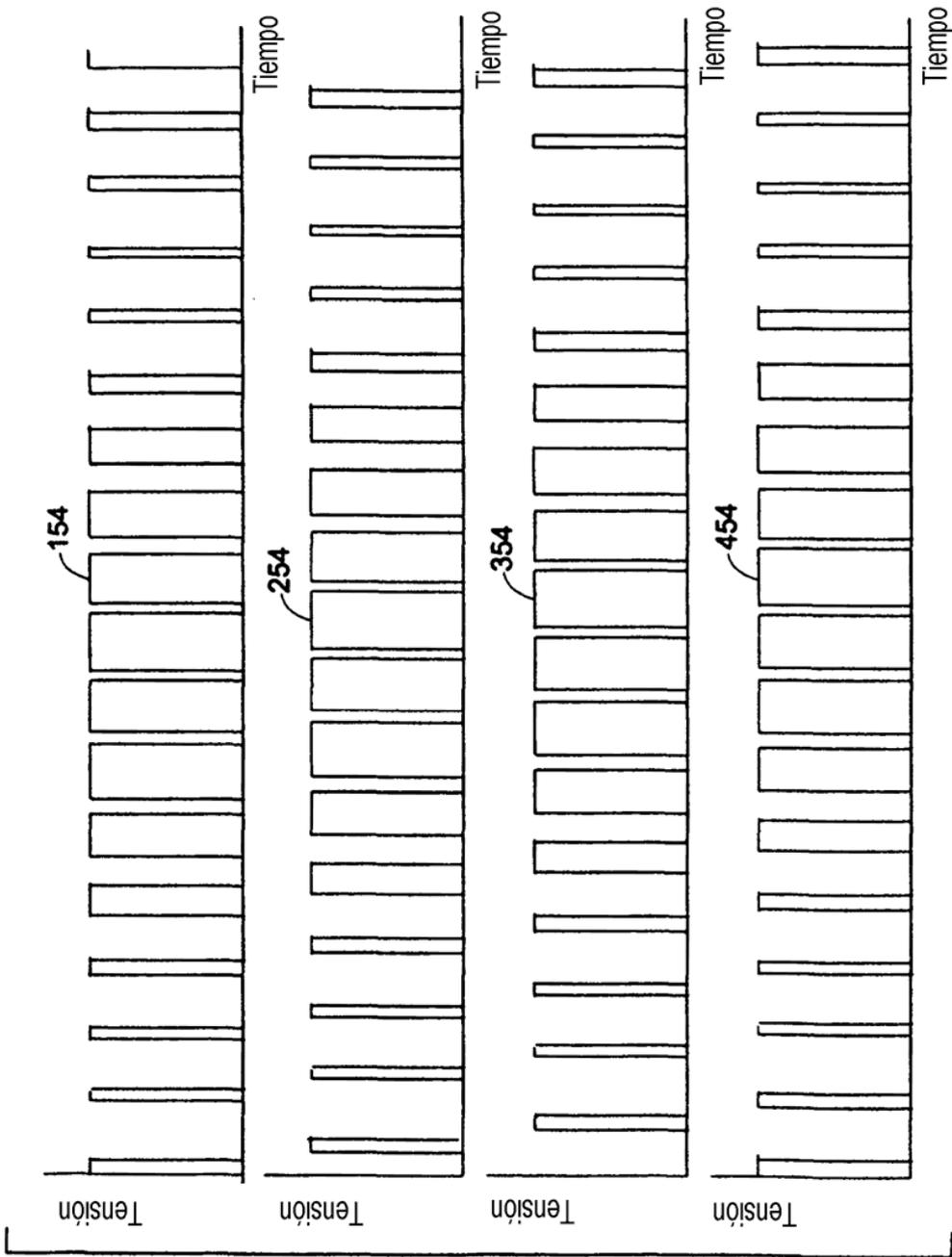


FIG. 6

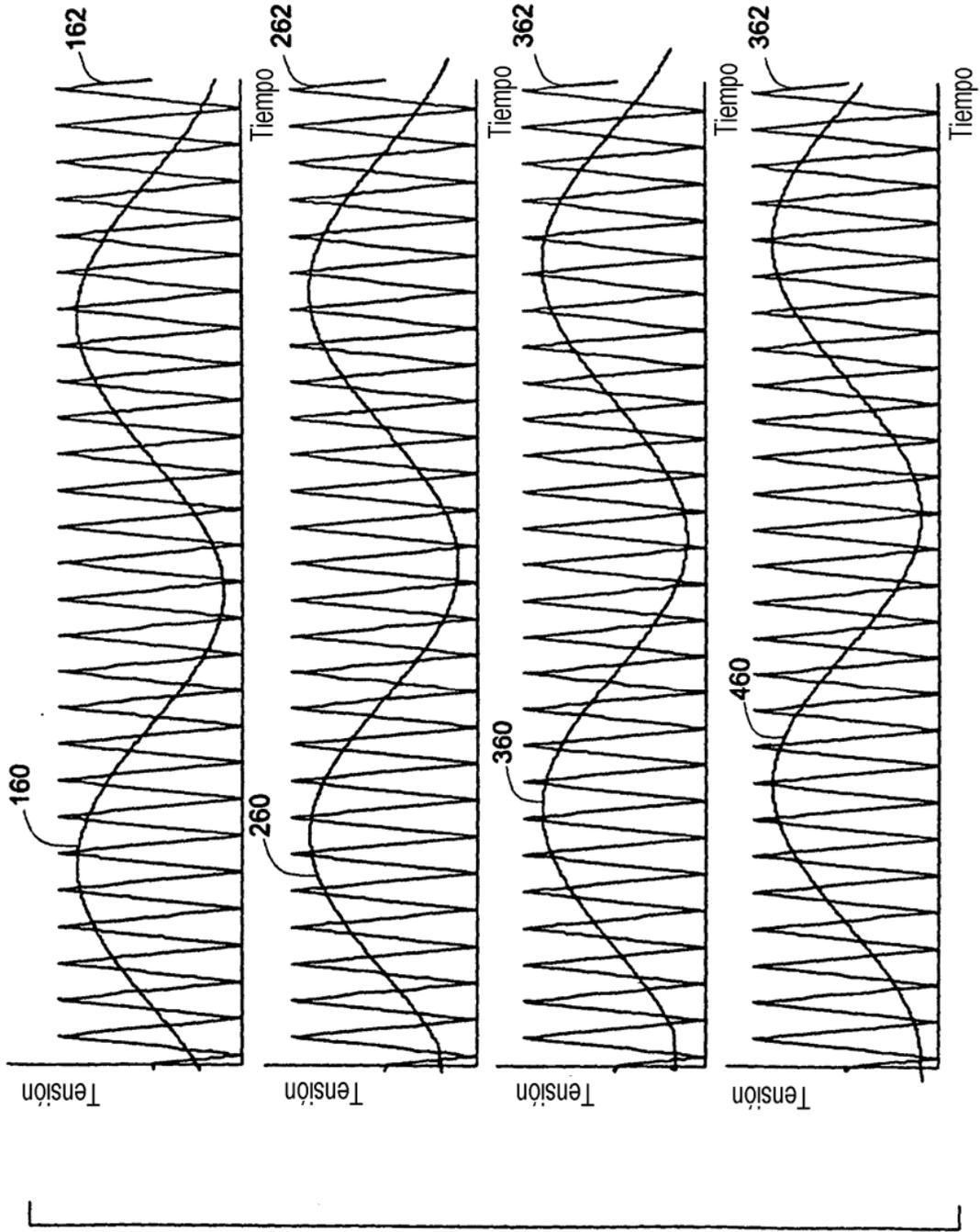


FIG. 7

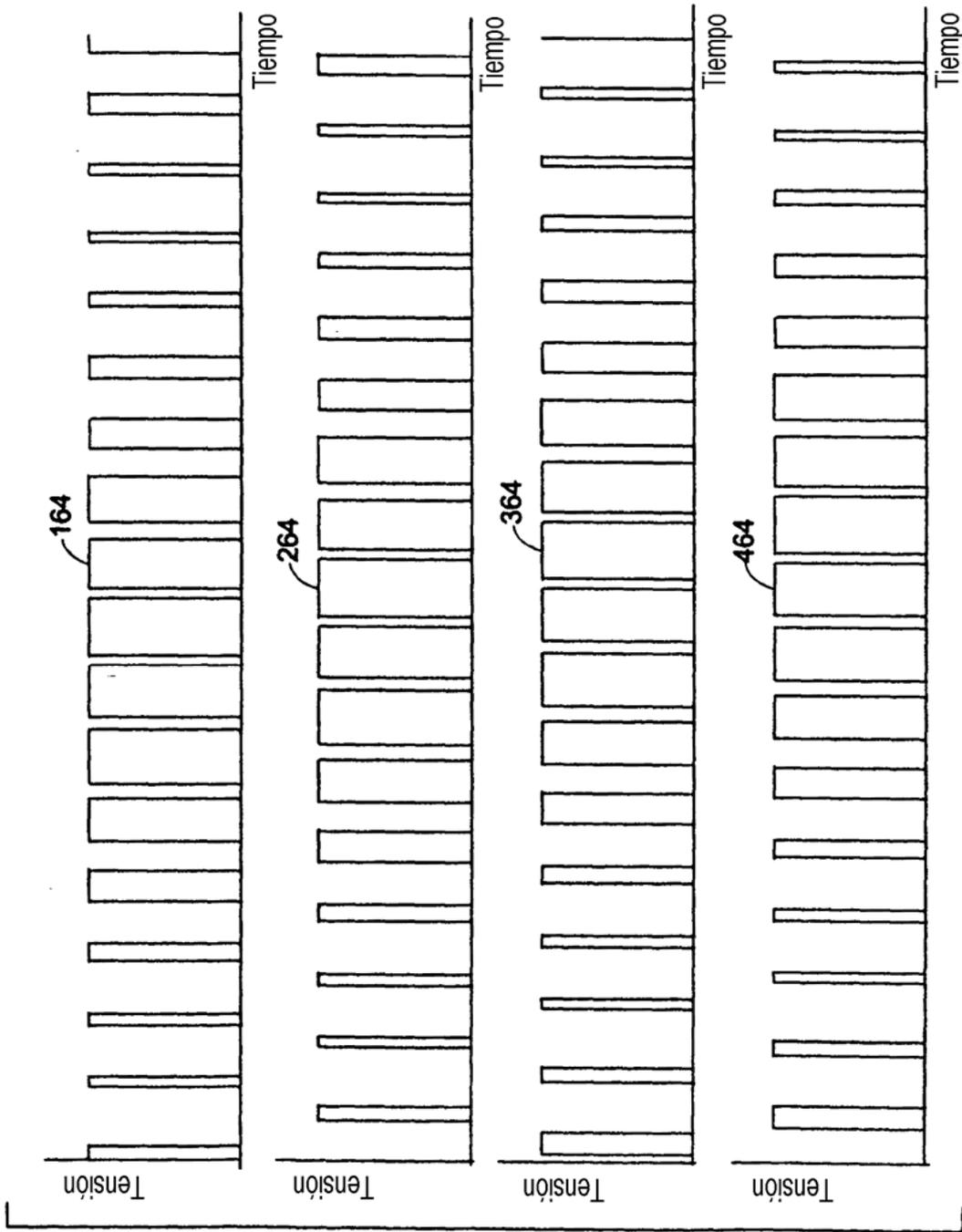


FIG. 8

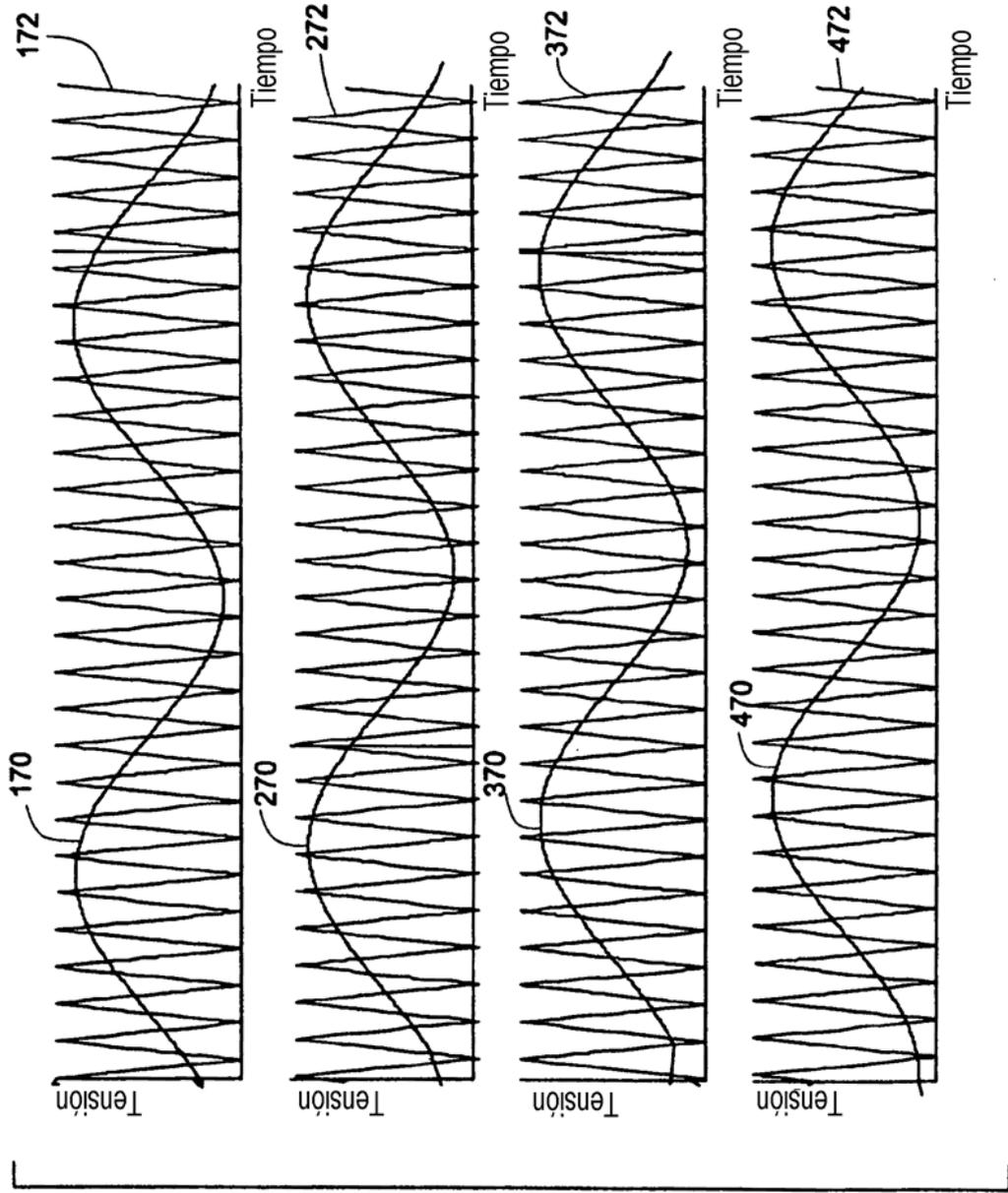


FIG. 9

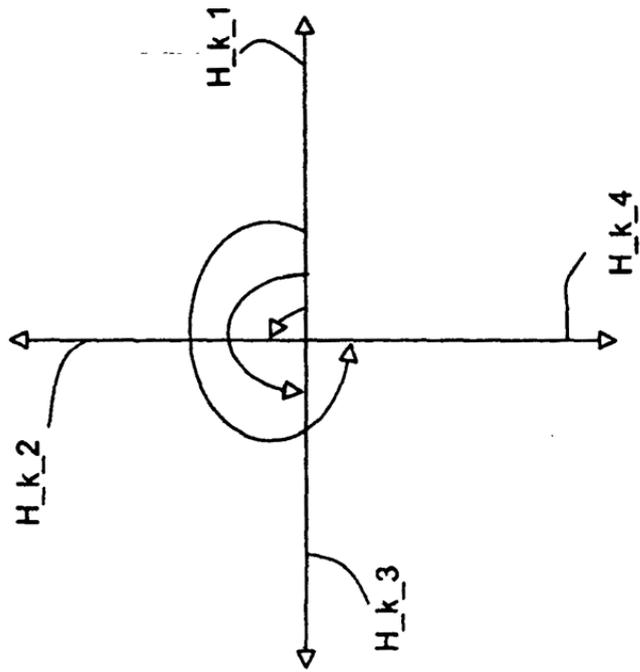


FIG. 10

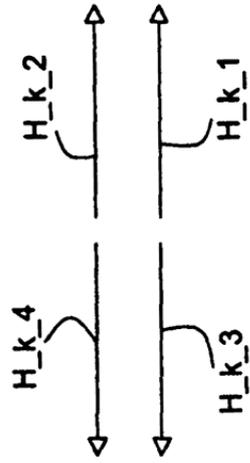


FIG. 11

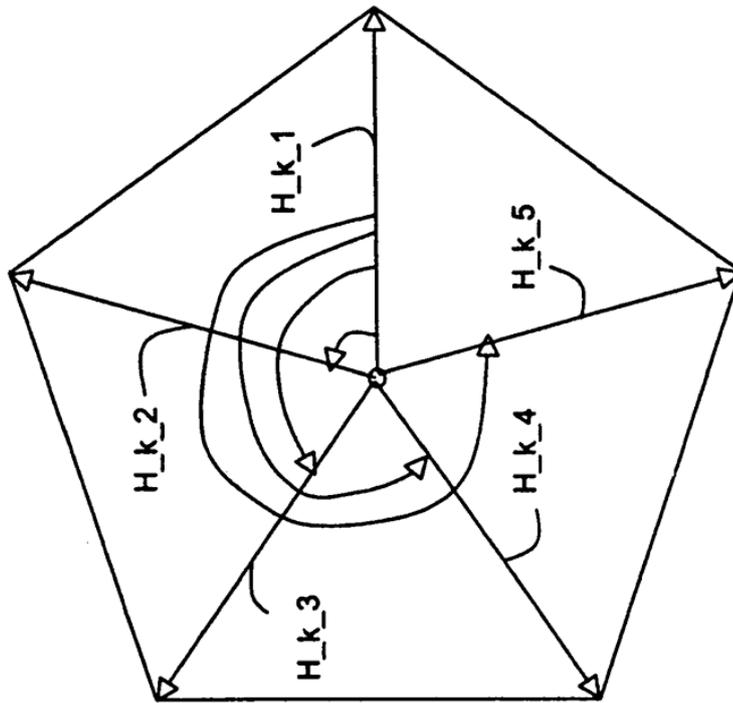


FIG. 12

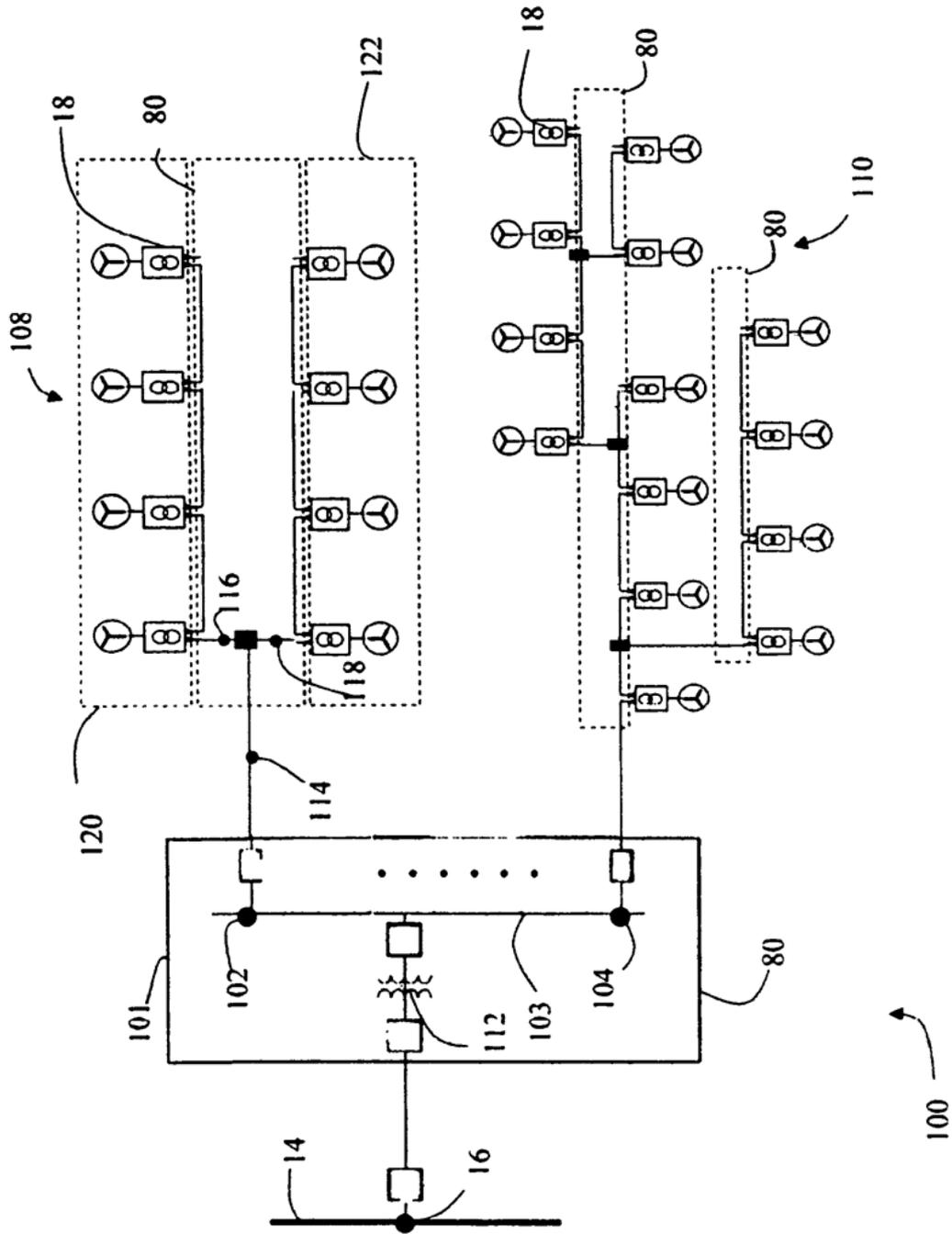


FIG. 13

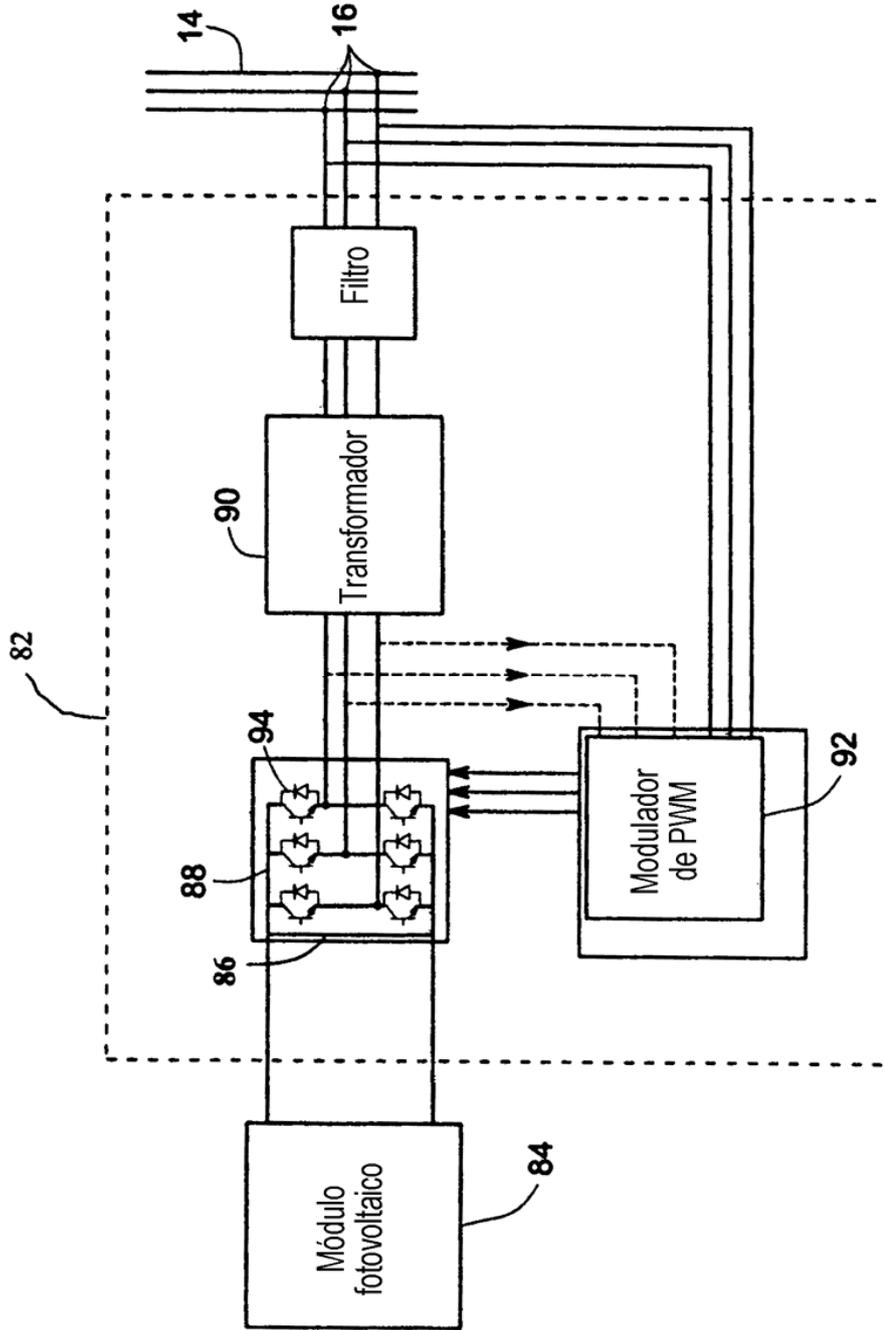


FIG. 14