

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 073**

51 Int. Cl.:

**H02P 9/10**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2008 PCT/US2008/058740**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.10.2008 WO08121868**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2008 E 08744669 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2137808**

54 Título: **Regulador de tensión de CC**

30 Prioridad:

**30.03.2007 US 921272 P**

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

**08.11.2019**

73 Titular/es:

**NORDEX ENERGY SPAIN, S.A. (100.0%)  
Polígono Industrial Barasoain, Parcela 2  
31395 Barasoain, Navarra, ES**

72 Inventor/es:

**ERDMAN, WILLIAM, L.;  
BEHNKE, MICHAEL;  
NÚÑEZ POLO, MIGUEL y  
ROYO GARCÍA, RICARDO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 730 073 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

Regulador de tensión de CC

**Campo**

5 La presente divulgación se dirige, en general, a aparatos, procedimientos y sistemas para regular tensiones, y más particularmente, a aparatos, procedimientos y sistemas para regular tensiones de bus de CC durante irregularidades de tensión.

**Antecedentes**

10 Los circuitos de control de potencia pueden incluir componentes que pueden dañarse en condiciones operativas adversas. Por ejemplo, las soluciones son necesarias para controlar y regular las tensiones de bus de CC durante condiciones operativas adversas que incluyen posibles irregularidades de tensión (por ejemplo, casos de tensión, fallos en la red de distribución de energía eléctrica, fluctuaciones en la red de distribución de energía eléctrica, o desequilibrios de potencia en un convertidor de potencia, entre otros). La regulación de tensión de CC es útil en aplicaciones tales como un generador de inducción de doble alimentación utilizado en turbinas eólicas. Se han implementado circuitos de control de potencia de la palanca de CA con generadores de doble alimentación en un intento por regular la tensión de bus de CC. El módulo de la palanca de CA intenta regular la tensión de bus de CC modificando las características del circuito operativo del lado de CA de un circuito de control de potencia durante una irregularidad de tensión. Sin embargo, el uso de una palanca de CA dentro de los circuitos de control de potencia no es una solución efectiva para regular la tensión de CC durante las irregularidades de tensión. En ciertos casos, una palanca de CA activada conectada con circuitos de control de potencia puede generar tensiones de bus de CC excesivos que causen daños a ciertos componentes del circuito, así como un desgaste excesivo del generador que los circuitos de control de potencia están configurados para controlar.

15 La patente japonesa JP H07 194196 divulga un controlador para una máquina de inducción de alambre enrollado para evitar que se produzcan perturbaciones en el funcionamiento cuando se cambia un circuito de control multiplex y para suprimir una sobretensión basada en un valor de corriente apropiado en función de la ubicación del accidente.

20 La publicación PCT WO2004/070936 divulga un procedimiento y un aparato para controlar un generador de turbina eólica conectado a la red eléctrica durante fallos de la red. Durante los fallos de la red, los enrollamientos del estator del generador de turbina eólica se desconectan de la red eléctrica y las impedancias para disipar al menos parte de la potencia generada por la turbina eólica durante la condición de fallo de la red están conectadas a los enrollamientos del estator.

**Sumario**

25 La divulgación detalla las implementaciones de aparatos, procedimientos y sistemas para regular directamente las tensiones de bus de CC durante las irregularidades de tensión. Esto es importante en aplicaciones tales como la regulación de tensión de CC de los circuitos de control de potencia asociados con un generador de turbina eólica. En una posible implementación, el sistema puede configurarse para regular la tensión de bus de CC en un circuito de control de potencia directamente modificando las características operativas del circuito de control de potencia en un bus de CC, en lugar de intentar indirectamente controlar las características operativas de CC indirectamente a través de la interacción del circuito de CA. En una implementación, el regulador de tensión de CC incluye un componente de control de palanca conectado operativamente con un dispositivo de conmutación, una resistencia y un diodo de retorno.

30 En un ejemplo de implementación no limitativa, el regulador de tensión de CC se puede usar para controlar la tensión de bus de CC de un generador de inducción de doble alimentación implementado dentro de una instalación de turbina eólica. En esta implementación, el regulador de tensión de CC protege efectivamente el convertidor de potencia de un generador de inducción y reduce los pares transitorios en el árbol del generador durante las irregularidades de tensión. Esto, a su vez, protege la caja de engranajes de la turbina eólica al limitar las cargas de fatiga en los dientes de engranaje del generador.

35 Otras implementaciones no limitativas de los reguladores de tensión de CC que se analizan en el presente documento incluyen instalaciones alternas de generadores de doble alimentación, tales como instalaciones de generación hidroeléctrica y/o grupos electrógenos diésel de velocidad variable o microturbinas.

40 La invención proporciona un procedimiento de regulación de una tensión de bus de CC con un controlador de palanca de CC según la reivindicación 1, un regulador de tensión de CC correspondiente según la reivindicación 10 y un sistema regulador de tensión de bus de CC según la reivindicación 12. Las realizaciones preferentes se definen en las reivindicaciones dependientes.

**Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos ilustran diversos aspectos inventivos, no limitativos, representativos según la presente divulgación:

- 5 las figuras 1A-1B son diagramas de circuitos que ilustran los componentes de la palanca de CA implementados con un generador de doble alimentación
- la figura 2 es un diagrama de circuito que ilustra aspectos de un regulador de tensión de CC según una implementación del sistema;
- las figuras 3A-3C ilustran aspectos de las características operacionales del regulador de tensión de CC según una implementación del sistema; y
- 10 las figuras 4A-4B ilustran aspectos de los componentes de control del regulador de tensión de CC según diversas implementaciones del sistema.

El número inicial de cada número de referencia indica el primer dibujo en el que se introduce ese número de referencia. Por ejemplo, el generador 110 de doble alimentación se introduce por primera vez en la figura 1.

**Descripción detallada**

15 Diversas implementaciones de los sistemas de control de potencia de palanca de CC ("CPC de CC ") facilitan el control y la regulación de las tensiones del bus de CC. En diversas implementaciones, un sistema de CPC de CC puede configurarse para regular la tensión de bus de CC cambiando las características operativas directamente en el bus de CC de un circuito de control de potencia.

20 A efectos ilustrativos, se describirán diversos aspectos de un sistema de CPC de CC en el contexto de una implementación del CPC de CC implementado con un sistema generador de inducción de doble alimentación utilizado como generador eléctrico en una turbina eólica. Sin embargo, debe entenderse que aunque la siguiente descripción analiza la regulación de la tensión de bus de CC de un generador de inducción de doble alimentación, el CPC de CC facilita la flexibilidad y los aspectos considerables del sistema, y diversos componentes de CPC de CC pueden configurarse para controlar y regular las tensiones de bus de CC de una amplia variedad de circuitos de control de potencia.

25 La figura 1A es un diagrama de circuito que ilustra un módulo de circuito regulador de tensión de palanca de CA implementado en coordinación con un circuito de control de potencia asociado con un generador de inducción de doble alimentación. Como se ilustra en la figura 1A, los elementos de esta configuración incluyen el generador 110 de inducción de doble alimentación, un circuito 118 convertidor de potencia y un circuito 120 de palanca de CA. Los elementos del generador 110 de inducción incluyen un estator 110a acoplado a un rotor 110b - la terminología "doble alimentación" indica el hecho de que el generador 110 de inducción tiene dos conexiones eléctricas: una en el estator 110a y otra en el rotor 110b. Más específicamente, en una implementación, el circuito del estator 110a se puede conectar directamente a un sistema 112 trifásico de distribución de energía eléctrica, y el circuito del rotor 110b se puede conectar a un circuito 114 convertidor de potencia del rotor.

35 El sistema generador de inducción de doble alimentación ha ganado popularidad en aplicaciones de potencia eólica, ya que el circuito 118 convertidor de potencia que incluye un circuito 114 convertidor de potencia del rotor y un circuito 116 inversor de línea conectado por el bus 111 de CC, puede implementarse para facilitar el control de velocidad variable de un generador 110 de inducción mucho más grande. En implementaciones de generador de inducción de doble alimentación, el tamaño del circuito 118 convertidor de potencia solo tiene que ser proporcional a la cantidad de deslizamiento que el generador 110 de inducción puede experimentar durante la operación. Por ejemplo, si el generador tiene una capacidad nominal de 1,5 megavatios y tiene un deslizamiento máximo del 33 % durante la operación, entonces el convertidor 118 de potencia puede tener una capacidad nominal del 33 % de 1,5 megavatios, o 500 kilovatios. Esto facilita un convertidor relativamente económico, particularmente cuando se compara con un circuito de convertidor completamente clasificado que tendría que clasificarse al mismo nivel que el nivel de potencia del generador.

40 En una realización, el generador 110 de inducción está configurado para convertir energía mecánica en energía eléctrica de CA tanto en el estator 110a como en el rotor 110b o ambos. La tensión de CA generada puede variar, en términos de magnitud y frecuencia, en comparación con la tensión de la red de distribución de energía eléctrica relativamente constante y, por lo tanto, no puede alimentarse directamente a la red eléctrica sin procesamiento adicional. El circuito 118 convertidor de potencia puede configurarse para cambiar las características de dominio de tiempo de la frecuencia variable y la magnitud de la tensión de CA para hacer que la potencia generada sea compatible con la red de distribución de energía eléctrica. En una implementación, el circuito 118 convertidor de potencia se configura para convertir primero la tensión de CA en tensión de CC, y posteriormente la tensión de CC se convierte nuevamente en tensión de CA de frecuencia y magnitud fijas; el convertidor 118 de potencia se configura como convertidor de CA/CC/CA. En otra implementación, el circuito 114 convertidor de potencia del rotor puede configurarse para convertir la frecuencia variable y la magnitud de la tensión de CA a tensión de CC, en la

que la energía eléctrica de CC de la salida del convertidor 114 de potencia del rotor se puede almacenar temporalmente en el bus 111 de CC dentro del campo eléctrico de una batería 115 de condensadores o en el campo magnético de un inductor. En una realización, la tensión de CA de la salida del inversor 116 de línea puede alimentarse a un filtro de línea de CA que puede configurarse para suavizar y estabilizar las características sinusoidales de la tensión de CA. En una realización adicional, se puede usar un transformador para aumentar las características de tensión de la salida del filtro de línea de CA para la transmisión a la red de distribución de energía eléctrica.

En la realización ilustrada en la figura 1B, el circuito 114 convertidor de potencia del rotor y el circuito 116 inversor de línea están configurados con componentes que incluyen transistores 117 de potencia, tales como los transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) y diodos 119 de retorno. En una implementación, un cuadro 130 de control del convertidor puede configurarse para coordinar el control del módulo de palanca de CA, administrar la operación de los cuadros de unidad de compuerta 132/134 asociadas con el convertidor 118 de potencia y controlar la velocidad y la posición del rotor 110b. En la figura 1B, el cuadro 130 de control del convertidor gestiona los cuadros de unidad de compuerta 132/134 que, a su vez, controlan el funcionamiento de los transistores 117 de potencia en el convertidor 114 de potencia del rotor y los circuitos del inversor 116 de línea (que forman el convertidor 118 de potencia), respectivamente.

Sin embargo, intentar controlar el bus de CC mediante la manipulación de una palanca de CA tiene ciertos inconvenientes durante la aparición de irregularidades de tensión. Como se ha explicado anteriormente, las irregularidades de tensión pueden ocurrir por varias razones, como una perturbación de tensión de la red pública. En el contexto de un circuito/implementación de generador de doble alimentación, una irregularidad de tensión puede resultar en una caída repentina en la tensión del estator. Esto también puede resultar en un aumento significativo en la tensión del rotor y en la corriente del rotor 124. Un aumento en la tensión/corriente del rotor hace que se conduzcan los diodos 119 de retorno en el circuito 114 del convertidor de potencia del rotor, y a su vez la tensión 126 del bus de CC puede aumentar a niveles destructivos. La magnitud de estas corrientes y tensiones puede exceder la capacidad nominal del convertidor 118 de potencia y provocar un fallo de los componentes.

Como se ilustra en la figura 1B, la palanca de CA y el cuadro 128 de unidad de compuerta pueden configurarse para detectar irregularidades de tensión y activar la palanca 120 de CA y cortocircuitar el circuito del rotor. Por ejemplo, la palanca 120 de CA, conectada al circuito del rotor 110b, está configurada con componentes que incluyen los inductores 123 y los diodos 125, que se activan durante una irregularidad de tensión detectada. Cuando se activan, los diodos cortocircuitan, efectivamente, el circuito del rotor 110b durante irregularidades de tensión. Más específicamente, como se ilustra en la figura 1B, el cuadro 128 de unidad de palanca y la compuerta pueden detectar irregularidades de tensión al analizar una combinación de sus entradas que incluyen la entrada de corriente del estator **C**, la entrada de corriente del rotor **A** y la entrada de tensión de bus de CC **B** (como se ilustra en la figura 1B). Algunos diseños de palanca de CA usan las tres señales de entrada, mientras que otros pueden configurarse para activar la palanca en función de un subconjunto de solo una o dos de las señales disponibles. Independientemente de la señal de activación que se procesa y se confía para activar la palanca 120 de CA, en última instancia, la palanca 120 de CA cortocircuita la corriente que fluye en el circuito del rotor y, por lo tanto, intenta regular la tensión de bus de CC modificando las características operativas en el lado de CA del circuito 114 convertidor de potencia del rotor.

Si bien este tipo de enfoque de control de palanca de CA puede proteger al convertidor 118 de potencia del aumento de tensión del rotor y la corriente 124 del rotor durante irregularidades de tensión, la palanca 120 de CA puede no ser efectiva para controlar y regular la tensión 126 de bus de CC. Como tal, durante una irregularidad de tensión, al cortocircuitar la corriente del rotor puede provocar que el circuito 118 del convertidor de potencia quede expuesto a una tensión 126 de bus de CC excesiva, lo que puede provocar la falla de los componentes. Además, la activación de la palanca 120 de CA da como resultado una gran corriente 124 del rotor, que a su vez, también produce altos pares de transitorios en el árbol 110 del generador. Estos pares del árbol del generador pueden transmitirse posteriormente a la caja de engranajes de la turbina eólica y crear cargas de fatiga significativas en los dientes de los engranajes, lo que provoca un desgaste excesivo de los componentes y/o un fallo de los componentes.

#### Descripción general del sistema regulador de tensión de CC

La figura 2 ilustra un regulador 230 de tensión de CPC de CC según una implementación del sistema configurado para regular la tensión en una aplicación de generador 110 de inducción de doble alimentación. El regulador 230 de tensión de CC descrito en el presente documento no genera el mismo riesgo de daño/falla de los componentes del sistema descrito anteriormente. En cambio, durante una irregularidad de tensión detectada, el regulador 230 de tensión de CC modifica las características operativas directamente a través del bus 126 de CC, lo que reduce el flujo de corriente en el rotor 110b y, por lo tanto, evita pares transitorios significativos en el árbol del generador, que pueden transmitirse a la caja de engranajes de la turbina eólica.

En una implementación del CPC de CC ilustrado en la figura 2, el regulador 230 de tensión de CC está configurado con componentes que incluyen un cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC, un dispositivo 232 de conmutación, una resistencia 236 y un diodo 234 de retorno. Diversas implementaciones del cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC puede describirse con mayor detalle a continuación con respecto a

las figuras 4A y 4B. Como se ilustra, el dispositivo 232 de conmutación está configurado aquí como un transistor de potencia, pero debe entenderse que el CPC de CC facilita una flexibilidad significativa. Como tal, el elemento 232 de conmutación u otros componentes ilustrados en la figura 2 pueden configurarse basándose en las necesidades de una aplicación particular y otros elementos pueden incluirse con/o sustituidos por los componentes ilustrados para facilitar la característica de control operacional como se describe en el presente documento. Dependiendo de los requisitos de implementación, el sistema puede incorporar tiristores controlados por compuerta en lugar de transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) para facilitar la operación en contextos con corrientes operativas más altas. De manera similar, los valores asociados con la resistencia 236 pueden variar según las características operativas particulares de la implementación. Sin embargo, la resistencia 236 está configurada para disipar la potencia intermitente necesaria que resulta de la activación del elemento 232 de conmutación. Por ejemplo, si se debe mantener una tensión de bus de CC nominal de 1050 V, la resistencia 236 se puede implementar para permitir la conmutación de 50 % de ciclo de trabajo que facilitaría el mantenimiento de una tensión de operación de regulación de sobretensión de aproximadamente 1155 V durante una irregularidad de tensión. Como tal, el funcionamiento en torno al 110 % de la tensión nominal del bus de CC puede ser aceptable durante un breve período de tiempo (por ejemplo, durante una irregularidad de tensión). Dependiendo de la implementación, el intervalo operativo aceptable de regulación de sobretensión puede variar y, de hecho, puede ser mayor o menor que el 10 % más alto que la tensión de bus de CC nominal explicado en este ejemplo. Además, dependiendo de la implementación particular, se observa que el regulador de tensión intenta mantener las características operativas dentro de un intervalo de más o menos 3 % (o una tolerancia diferente) de la tensión operativa de regulación de sobretensión objetivo.

El regulador de tensión analizado en el presente documento está configurado para facilitar una flexibilidad significativa y puede proporcionar un soporte durante varios tipos diferentes de irregularidades de tensión. Por ejemplo, las irregularidades de tensión pueden incluir un fallo en la red de distribución de energía eléctrica (donde la potencia de la distribución de energía eléctrica subyacentes desaparece por un tiempo). Alternativamente, la irregularidad de tensión puede ser un desequilibrio de potencia entre el convertidor 114 de potencia del rotor y el inversor 116 de línea que resulta en un aumento gradual de la tensión de bus de CC. En una realización, estos desequilibrios de potencia pueden ocurrir cuando la tensión de la red de distribución de energía eléctrica está en niveles normales o en un nivel degradado (por ejemplo, durante el aumento de la demanda de potencia en la red de distribución de energía eléctrica de un día caluroso de verano).

En las irregularidades de la tensión de desequilibrio de potencia, es posible que el inversor 116 de línea no pueda distribuir la potencia a la red de distribución de energía eléctrica tan rápido como la turbina genera la potencia, lo que provoca el desequilibrio de potencia y un aumento de la tensión de bus de CC. Por ejemplo, en condiciones normales de funcionamiento, el convertidor de potencia del rotor puede producir potencia a una velocidad del 3 % superior a la velocidad a la que el inversor 116 de línea puede distribuir la potencia a la red de distribución de energía eléctrica. Se observa que las irregularidades en la tensión de desequilibrio de potencia no requieren necesariamente una regulación activa significativa cuando se comparan con un fallo de la red de distribución de energía eléctrica. Como tal, un caso de desequilibrio de potencia, el regulador de tensión puede controlar el dispositivo 232 de conmutación para facilitar un ciclo de trabajo del 10 % para lograr una tensión operativa de regulación de sobretensión de aproximadamente 1155 V. por consiguiente, debe entenderse que el regulador 230 de tensión de CC está configurado para soportar el funcionamiento continuo a través de una amplia variedad de irregularidades de tensión o casos que resultan en un aumento de la tensión de bus de CC al nivel de tensión de referencia de sobretensión para una implementación particular.

El regulador 230 de tensión de CC está configurado para hacer la transición de las características operativas a la tensión de bus de CC nominal cuando finaliza la irregularidad de tensión. Por ejemplo, el regulador 230 de tensión de CC funciona en paralelo con el inversor 116 de línea, que distribuye la potencia a la red de distribución de energía eléctrica. Cuando finaliza la irregularidad de tensión, el inversor 116 de línea pasa al funcionamiento normal y recupera su capacidad de distribuir la energía a la red, lo que lleva a una disminución de la tensión de bus de CC a los niveles operativos nominales. De esta manera, el regulador de sobretensión se vuelve operativo e inoperativo a la perfección.

Como parte del regulador 230 de tensión, el diodo 234 de retorno se puede usar para proporcionar una ruta de baja impedancia para la corriente inductiva parásita que puede fluir en el circuito regulador de tensión de CC. Cuando se implementa el regulador 230 de tensión de CC, los diodos 119 de retorno conectados con los transistores 117 de potencia que se muestran en el circuito 114 del convertidor de potencia del rotor, también están configurados para manejar altas corrientes intermitentes durante un caso de irregularidad de tensión.

Como se explicará con mayor detalle a continuación, una de las entradas del cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC es la tensión **B** del bus de CC. Una salida del cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC se conecta al dispositivo 232 de conmutación y se utiliza para conmutar el convertidor 118 entre los estados de encendido y apagado cuando se detecta una irregularidad de tensión. El control de CPC de CC del dispositivo 232 de conmutación se describe con mayor detalle con respecto a las figuras 3A-3C.

La figura 3A ilustra los aspectos operativos del cuadro 238 de control del regulador de tensión según una implementación del CPC de CC. Como se ilustra en la figura 2, el cuadro 238 de control del regulador de tensión

CPC de CC tiene una entrada B que está conectada a la tensión 126 del bus de CC. En una implementación de CPC de CC, un administrador del sistema puede usar el valor X del punto de operación nominal de la tensión 126 de bus de CC para determinar una referencia de regulación 340 de sobretensión, que define un punto de activación de control que inicia el control activo de CPC de CC. Por ejemplo, el administrador puede configurar la referencia 340 de regulación de sobretensión al 110 % del valor de la tensión nominal del bus de CC (X). Por lo tanto, si el valor del punto de operación nominal de la tensión 126 de bus de CC es 1050 VCC, entonces la referencia 340 de regulación de sobretensión se puede establecer en 1155 VCC. En este caso, la operación nominal colocaría el nivel de la tensión 126 de bus de CC por debajo del nivel de la referencia 340 de regulación de sobretensión. Por consiguiente, la diferencia entre las dos señales, calculada por la unión 342 sumadora, sería positiva. Este valor positivo se aplica a la entrada de un componente de control proporcional más integral ("Controlador P+I") 344.

En una implementación, el componente 344 de control P+I en coordinación con el generador de forma de onda de modulación está configurado para mantener la operación alrededor del valor de referencia de sobretensión durante una irregularidad de tensión. El controlador de CPC de CC coordina el controlador P+I y el generador de forma de onda para activar y desactivar activamente el elemento 232 de conmutación para mantener el funcionamiento dentro de un intervalo estrecho alrededor del valor de referencia de sobretensión.

Una salida del controlador P+I 344 puede ser sujeta por el limitador 346. El comparador 348 está configurado para comparar la salida restringida del limitador 346 con el nivel de una forma de onda 350 de modulación. La salida restringida facilita el funcionamiento nominal de la señal de salida del limitador 346 por encima del nivel de una forma de onda 350 de modulación.

La figura 3B ilustra un ejemplo de las características operativas del CPC de CC con respecto al comparador 348. Como se ilustra, la forma de onda 350 de modulación que puede iniciar el controlador o un generador de forma de onda independiente, se ilustra como una onda triangular que oscila entre +/-10 V y tiene una frecuencia de 1 kHz. En otra implementación, la forma de onda de modulación puede configurarse con diferentes amplitudes, características de frecuencia o incluso como un tipo diferente forma de onda, tal como una onda de diente de sierra, dependiendo de las características operativas de la implementación. En un ejemplo, la operación nominal se basa en una forma de onda del limitador 346 con salida a +12 V.

Haciendo referencia a la figura 3B, durante el período de tiempo de 0 a  $t_1$ , la salida del limitador 346 está en +12 V y la salida del limitador es mayor que el valor de tensión de la forma de onda 350 de modulación triangular. Como tal, el dispositivo 232 se desactiva de 0 a  $t_1$ . El generador mantiene el funcionamiento normal y opera como si el regulador 230 de tensión de CC no estuviera presente. Sin embargo, durante un caso de irregularidad de tensión, la salida del limitador 346 (ilustrada como la transición de +12 V a +5 V entre los tiempos de 0,75 ms y 1 ms), el exceso de corriente 124 del rotor se bombea al bus de CC a través de los diodos 119 de retorno del circuito 114 convertidor de potencia del rotor. Esto hace que la tensión 126 de bus de CC aumente y cuando excede la referencia 340 de regulación de sobretensión (de la figura 3A), el valor 342 de salida de la unión sumadora (entrada para el componente de control P+I de la figura 3A) es reducido. Por consiguiente, la salida del componente 344 de control P+I (de la figura 3A) también comienza a caer a un nivel que hace que la señal de salida del limitador 346 caiga a +5 V en el tiempo de 1 ms.

La primera vez que el nivel de la salida del limitador 346 (que ha pasado a +5 V), intercepta la forma de onda 350 de modulación triangular ocurre en el tiempo 1,125 ms. Esto inicia un cambio del transistor 232 a un estado de "encendido". El encendido del transistor 232 proporciona una ruta de baja impedancia para que se descargue la tensión 126 de bus de CC. El controlador P+I 344 (de la figura 3A) continúa modulando el tiempo de encendido y apagado del dispositivo 232 de conmutación durante el caso de irregularidad de tensión al controlar el nivel de tensión de la salida del limitador 346. Debe tenerse en cuenta que el transistor 232 se apaga en 1,375 ms, y luego se vuelve a encender durante 2,125 ms hasta 2,375 ms. El controlador P+I está configurado para coordinar el tiempo correcto de activación y desconexión de la modulación para mantener la tensión 126 de bus de CC a la tensión de referencia de sobretensión durante la irregularidad de tensión. Solo a modo de ejemplo, el controlador P+I está configurado para mantener la tensión dentro de un intervalo de más o menos el 3 % de los niveles de tensión de referencia de sobretensión objetivo para la implementación en particular. Debe entenderse que, otras implementaciones pueden tener intervalos aceptables que son diferentes que el 3 % explicado en este ejemplo.

Debido a que el circuito del rotor se aprovecha para generar una tensión 126 de bus de CC relativamente alta, la corriente 124 del rotor que fluye en el enlace es sustancialmente más pequeña que la corriente que fluye desde el rotor 110b en cortocircuito en la palanca de CA de la figura 1. Por consiguiente, el regulador de tensión de CC de la figura 2 reduce considerablemente el riesgo de un par transitorio excesivo en el árbol 110 del generador, así como las cargas transitorias excesivas en la caja de engranajes de la turbina eólica.

La figura 3C ilustra aspectos de la operación asociada a un diagrama de flujo lógico del cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC según una implementación del CPC de CC. En ciertas implementaciones, el controlador de CPC de CC 238 puede configurarse para acceder a la memoria de CPC de CC para obtener ciertas variables 355 operativas utilizadas para controlar el CPC de CC. Por ejemplo, el controlador de CPC de CC puede obtener una variable operativa tal como la tensión de bus de CC (X) operativa nominal para una implementación de CPC de CC particular o una variable de tolerancia de referencia de sobretensión utilizada para determinar la

referencia de regulación de sobretensión.

El valor X, la tensión 126 de bus de CC nominal, se obtiene y se usa para determinar y generar 360 la referencia 340 de regulación de sobretensión. En una implementación, la referencia 340 de regulación de sobretensión se puede establecer en 110 % veces el valor de X. Por ejemplo, como se ha explicado anteriormente, si el valor X del punto de operación nominal de la tensión 126 de bus de CC es 1050 VCC, entonces la referencia 340 de regulación de sobretensión se puede establecer en 1155 VCC. Las implementaciones alternativas pueden requerir una regulación operativa de sobretensión más fina. Tales implementaciones pueden tener una referencia de regulación de sobretensión que se establece dentro de un intervalo que es menor o igual al 10 % de la tensión nominal del bus de CC.

El cuadro 238 de control del regulador de tensión CPC de CC mide el valor actual de la tensión 361 de bus de CC y luego determina la diferencia 362 entre el valor actual de la tensión 126 de bus de CC y el valor de la referencia 340 de regulación de sobretensión. El CPC de CC procesa el valor de esta diferencia de tensión 364 en el controlador 344 proporcional más integral. En una implementación durante casos de irregularidad de tensión, el análisis y procesamiento 364 permite que el controlador 344 proporcional más integral coordine el tiempo correcto de activación y desactivación de la modulación para mantener la tensión 126 de bus de CC dentro de un intervalo estrecho (por ejemplo, 3 %) alrededor del nivel del punto de ajuste de la referencia 340 de regulación de sobretensión. En otra implementación, el controlador de CPC de CC también puede ser responsable de iniciar, generar o actualizar la forma de onda 365 de modulación.

Una salida del controlador 344 proporcional más integral se limita entonces a 366 para estar dentro de un intervalo de tensión operativo, por ejemplo: +12/-10 V. En el caso de que el valor de tensión de la salida 346 limitada sea mayor que la forma de onda 370 de modulación, el dispositivo 232 de conmutación, "se apaga" 372 si el dispositivo 232 de conmutación está "encendido". Sin embargo, si el cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC determina que el valor 346 de tensión de salida limitado es menor que el valor 350 de tensión de la forma de onda de modulación, entonces el cuadro 238 de control genera y transmite la señal necesaria para encender el dispositivo 232 de conmutación, si el dispositivo 232 de conmutación está actualmente "apagado". Periódicamente, el cuadro 238 de control del regulador de tensión puede volver a 376 para recalcular la diferencia de tensión entre el valor de la tensión 126 de bus de CC y el valor de la referencia 340 de regulación de sobretensión. En una implementación, el CPC de CC puede configurarse para realizar ciclos periódicos a 1-2 kHz. Dependiendo de las restricciones de procesamiento del CPC de CC particular, la frecuencia del recálculo periódico se establecerá para al menos mantener la integridad de la forma de onda de modulación que regula la conmutación de CC.

Dependiendo de la implementación particular, se pueden lograr diversos aspectos de las características/funcionalidades de control del sistema a través de soluciones de *hardware*, soluciones de *software* o alguna combinación de ambas. Dos implementaciones de ejemplo de los componentes de control de CPC de CC se explican con mayor detalle a continuación en las figuras 4A-4B. En algunas implementaciones, el cuadro 238 de control del regulador de tensión de CPC de CC también puede implementarse como parte del cuadro 130 de control del convertidor.

La figura 4A ilustra una implementación del controlador de CPC de CC implementado como un microcontrolador 400 que funciona en conjunto con la memoria 405 del controlador de CPC de CC. La memoria del controlador de CPC de CC puede configurarse para almacenar una variedad de características operativas para una implementación particular, que incluye, pero no se limita al valor de la tensión de funcionamiento nominal del bus de CC, una variable de tolerancia de referencia de uso, las características de la forma de onda de modulación, las variables de medición de reevaluación periódica y/o cualquier otro número de posibles variables operativas.

Dependiendo de la implementación particular, las características del CPC de CC se pueden lograr implementando un microcontrolador tal como el microcontrolador 8051 de Intel. Algunas implementaciones también pueden confiar en el procesamiento de señal digital ("DSP"), la matriz de compuertas programable de campo ("FPGA") y/o la tecnología de circuito integrado de aplicación específica ("ASIC") para implementar ciertas características del CPC de CC.

Por ejemplo, un microcontrolador MC68HC16, fabricado comúnmente por Motorola Inc., puede implementarse como un controlador de CPC de CC. También se pueden utilizar microcontroladores y/o procesadores equivalentes. El microcontrolador MC68HC16 utiliza una instrucción de multiplicación y acumulación de 16 bits en la configuración de 16 MHz y requiere menos de un segundo para realizar una operación de clave privada RSA de 512 bits. Alternativamente, algunas implementaciones del CPC de CC pueden configurarse con componentes DSP que se configuran y utilizan para lograr una variedad de características o procesamiento de señales. En función de la implementación particular, los componentes DSP pueden incluir soluciones de *software*, soluciones de *hardware* o alguna combinación de ambas soluciones de *hardware/software*.

Alternativamente, las características de CPC de CC que se analizan en el presente documento pueden lograrse mediante la implementación de matrices de compuertas programables en campo (FPGA), que son dispositivos semiconductores que contienen componentes lógicos programables llamados "bloques lógicos", e interconexiones programables, tales como la serie de alto rendimiento FPGA Virtex y/o la serie Spartan de bajo costo fabricada por

Xilinx. Los bloques lógicos de un FPGA pueden programarse para realizar la función de compuertas lógicas básicas como AND y XOR, o funciones combinacionales más complejas tales como decodificadores o funciones matemáticas simples. En la mayoría de los FPGA, los bloques lógicos también incluyen elementos de memoria, que pueden ser simples *flip-flops* o bloques de memoria más completos.

- 5 Una jerarquía de interconexiones programables permite que los bloques lógicos se interconecten según lo requiera el diseñador/administrador del sistema de CPC de CC, algo así como una placa de pruebas programable de un chip. Los bloques lógicos y las interconexiones pueden ser programados por el cliente o diseñador, después de que se fabrica el FPGA, para implementar cualquier función lógica. Las implementaciones alternativas o coordinadas pueden implementar las características del controlador CPC de CC en el circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), en lugar de o además de los FPGA. Los controladores CPC de CC pueden desarrollarse en FPGA regulares y luego migrarse a una versión fija que se asemeja más a las implementaciones de ASIC.

10 La figura 4B ilustra aspectos de una solución de control de *hardware* de CPC de CC y una implementación de *hardware* de ejemplo del cuadro 238 de control del regulador de tensión descrito en la figura 3A. Como se ilustra, la unión 342 sumadora, configurada para determinar la diferencia entre el valor de la referencia 340 de regulación de sobretensión y el valor de la tensión de bus de CC, puede implementarse utilizando un circuito de "suma" estándar que incluye un amplificador operacional y tres resistencias. En diversas realizaciones del controlador ilustrado en la figura 4B, los circuitos 490 divisores de tensión pueden implementarse con las 4 resistencias que tienen una variedad de valores para lograr una variedad de características operativas para regular la tensión 126 de bus de CC.

15 Independientemente de la realización particular, el valor de salida de la unión 342 sumadora se puede aplicar a la entrada de un controlador P+I 344. Por ejemplo, en la figura 4B, la salida de la unión de suma está conectada con la entrada negativa de un amplificador operacional que puede formar parte del controlador P+I 344. El controlador P+I también puede tener una resistencia y un capacitor conectados en serie entre la entrada negativa y la salida del amplificador operacional, como se muestra en la figura 4B. En una implementación, el limitador 346 puede implementarse como un componente de circuito que incluye dos diodos zener (con tensiones de ruptura de +12 V y -10 V) conectados a través de la entrada negativa y la salida del amplificador de operación del controlador P+I 344, como se ilustra en la figura 4B.

20 También en el ejemplo ilustrado en la figura 4B, se puede generar una forma de onda 350 de modulación triangular usando un generador de forma de onda 8038 en coordinación con una resistencia y un condensador. Los valores de la resistencia y el condensador pueden seleccionarse para producir una forma de onda triangular con una frecuencia particular, por ejemplo, 1 kHz. Sin embargo, debe entenderse que, dependiendo de la aplicación, la frecuencia de la forma de onda de modulación se puede ajustar en consecuencia. Finalmente, el controlador incluye un comparador 348 configurado para comparar la tensión de salida del amplificador operacional del controlador P+I 344 y la salida 350 de la forma de onda triangular del generador de forma de onda 8038. El comparador 348 se puede implementar utilizando un amplificador operacional.

25 Independientemente de la implementación particular, el controlador de CPC de CC está conectado operativamente con el dispositivo de conmutación del regulador de tensión de CPC de CC 432A/432B para facilitar aspectos de las características descritas en el presente documento.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de regulación de una tensión (126) de bus de CC con un controlador (230) de palanca de CC, que comprende:
  - determinar un valor de la tensión de bus de CC;
  - 5            determinar un valor de una tensión (340) de referencia de regulación de sobretensión; generar una forma de (350) de tensión de modulación; determinar una diferencia de tensión entre los valores determinados de la tensión de bus de CC y la tensión de referencia de regulación de sobretensión para detectar un cambio en la tensión de bus de CC lejos de los valores operacionales normales durante una irregularidad de tensión; y
  - 10           procesar la diferencia de tensión determinada entre los valores de la tensión de bus de CC y la tensión de referencia de regulación de sobretensión y limitar la diferencia de tensión procesada, en el que el procesamiento y la limitación están configurados para generar una salida que representa una tensión a través del bus de CC que se compara con la forma de onda de tensión de modulación para controlar un dispositivo (232) de conmutación; y
  - 15           regular el valor de la tensión de bus de CC mediante la modulación del ancho de pulso de una señal de conmutación aplicada al dispositivo de conmutación durante la irregularidad de tensión; regular el valor de la tensión de bus de CC comprende además:
    - comparar un valor de la tensión de salida limitada con un valor de la forma de onda de tensión de modulación; y
    - 20           encender y apagar el dispositivo de conmutación basándose en la comparación del valor de la tensión de salida limitada y el valor de la forma de onda de tensión de modulación.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la regulación del valor de la tensión de bus de CC mantiene la tensión de bus de CC dentro de un intervalo operativo centrado alrededor de la tensión de referencia de regulación de sobretensión durante una irregularidad de tensión.
- 25    3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la regulación del valor de la tensión de bus de CC mantiene la tensión de bus de CC dentro de un intervalo operativo dentro del 3 % de la tensión de referencia de regulación de sobretensión; o en el que la regulación del valor de la tensión de bus de CC hace que la tensión de bus de CC vuelva a un valor de tensión de operación nominal cuando finaliza la irregularidad de tensión.
- 30    4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la irregularidad de tensión implica un desequilibrio de potencia entre un componente convertidor y un componente inversor de línea mientras una red de distribución de energía eléctrica esté activa; y, opcionalmente, en el que la red de distribución de energía eléctrica esté activa, pero operada en un estado degradado; o en el que la irregularidad de tensión implica un fallo en la red de distribución de energía eléctrica.
- 35    5. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de conmutación conectado operativamente con un bus de CC se opera en una posición activa si se determina que el valor de una tensión de salida del limitador es menor que el valor de la forma de onda de tensión de modulación; y, opcionalmente, en el que el dispositivo de conmutación conectado operativamente con el bus de CC se opera en una posición de apagado si se determina que el valor de la tensión de salida limitada es mayor que el valor de la forma de onda de tensión de modulación.
- 40    6. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la tensión de referencia de regulación de sobretensión se selecciona en función de las características operativas y los componentes asociados con un generador de inducción de doble alimentación en una turbina eólica.
- 45    7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el valor de la tensión de referencia de la regulación de sobretensión es un valor menor o igual al 10 % de una tensión de bus de CC nominal asociada con un convertidor de potencia para el generador de doble alimentación.
8. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el dispositivo de conmutación se conmuta en un ciclo de trabajo del 50 % para mantener la tensión de bus de CC en el valor de la tensión de referencia de regulación de sobretensión.
- 50    9. El procedimiento según la reivindicación 2, que comprende además: hacer que la tensión de bus de CC vuelva al valor de tensión de operación nominal después de que el controlador de palanca de CC determina que la irregularidad de tensión ha finalizado.
10. Un regulador (230) de tensión de CC configurado para realizar el procedimiento de cualquier reivindicación anterior.
11. El regulador de tensión de CC según la reivindicación 10, que comprende:

un cuadro (238) de control del regulador de tensión configurado para detectar un cambio en la tensión (126) de bus de CC lejos de los valores operativos normales durante la irregularidad de tensión y mantener las características operativas de regulación de sobretensión para una unión del bus de CC durante la irregularidad de tensión;

5 el dispositivo (232) de conmutación conectado a la salida del cuadro de control del regulador de tensión y un lado de la unión del bus de CC;

una resistencia (236) conectada en serie entre el dispositivo de conmutación y el otro lado de la unión del bus de CC configurada para facilitar la disipación de potencia en coordinación con el dispositivo de conmutación durante la irregularidad de tensión y mantener las características operativas de sobretensión, incluido el valor de la

10 tensión de referencia de la regulación de sobretensión; y

un diodo (234) de retorno conectado en paralelo a la resistencia con el cátodo del diodo conectado al otro lado de la unión del bus de CC.

12. Un sistema regulador de tensión de bus de CC, que comprende:

15 un circuito convertidor de potencia (118) que incluye un componente (114) convertidor y un componente (116) inversor de línea con una unión de bus de CC situada entre el componente convertidor y el componente inversor de línea configurado para procesar la energía generada por un sistema (110) de generación de energía eléctrica;

y

un regulador (230) de tensión de CC según la reivindicación 11.

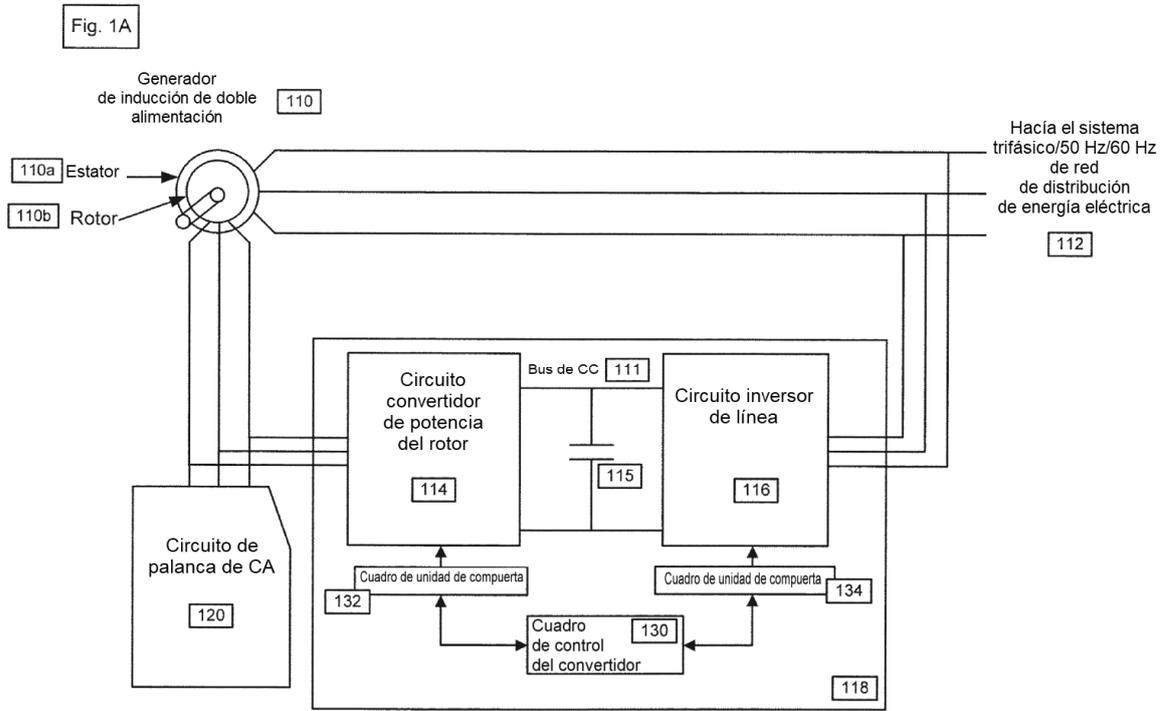


Fig. 1B

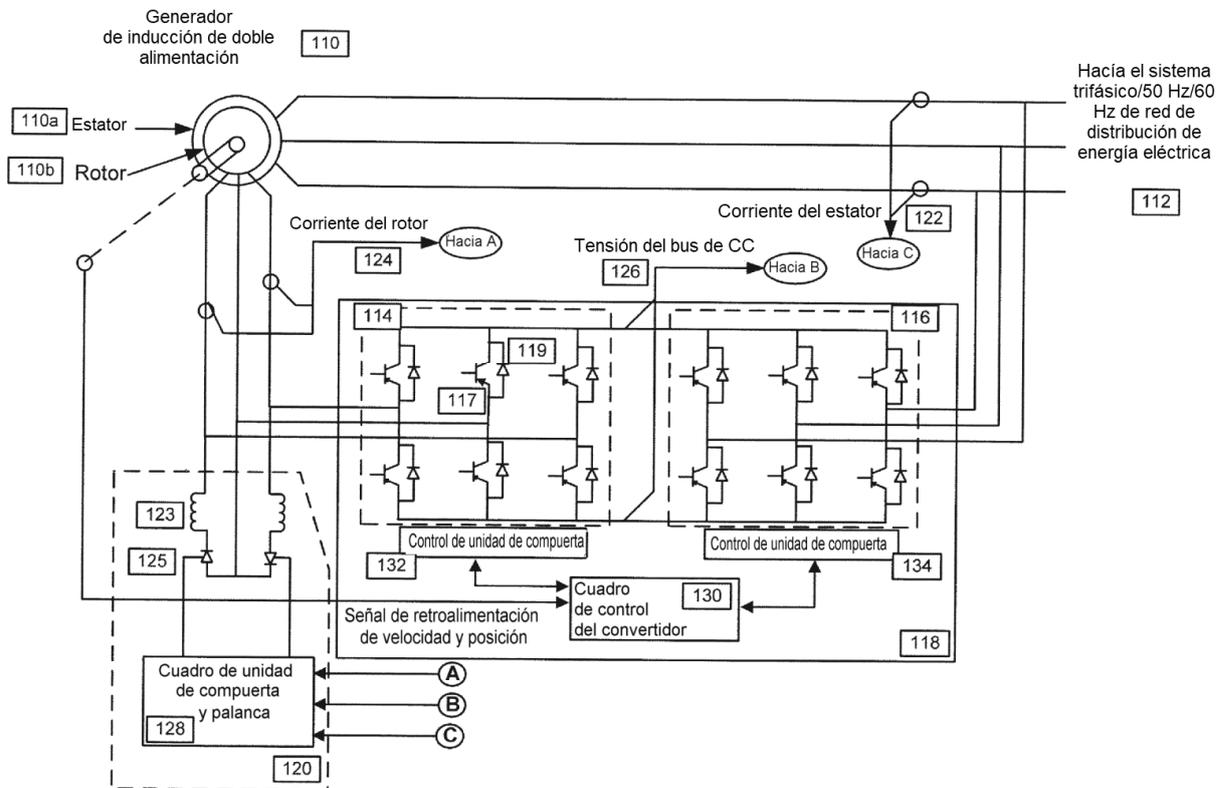


Fig. 2

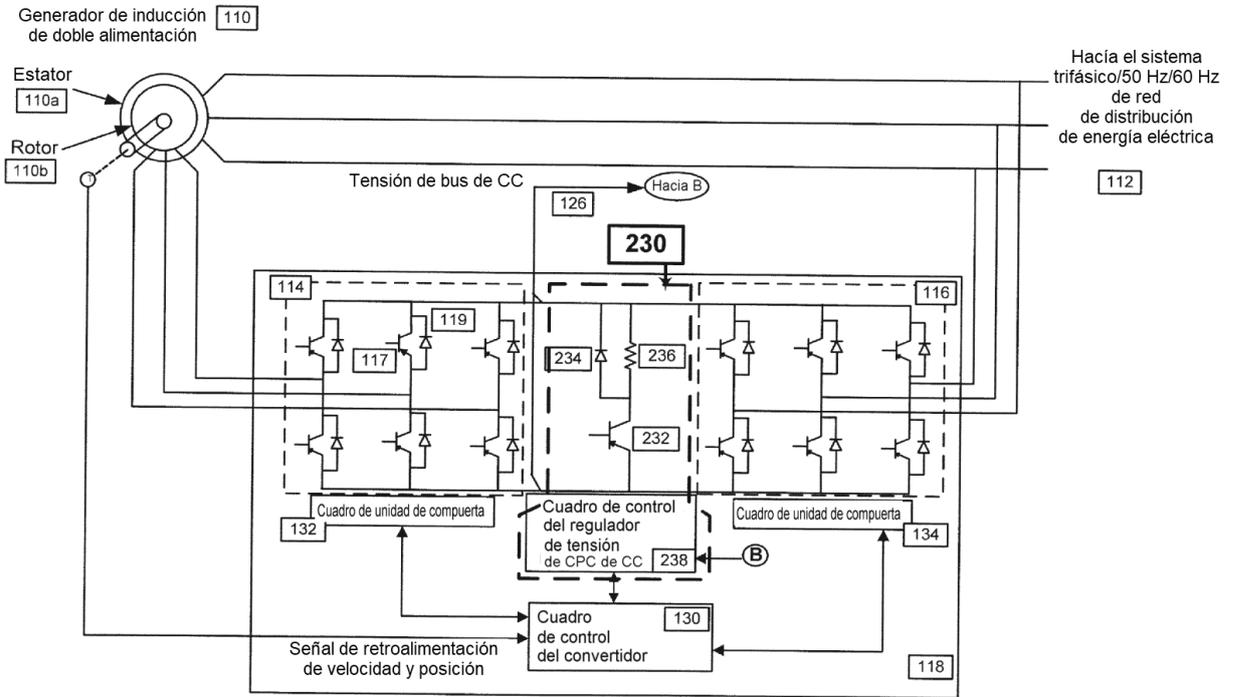
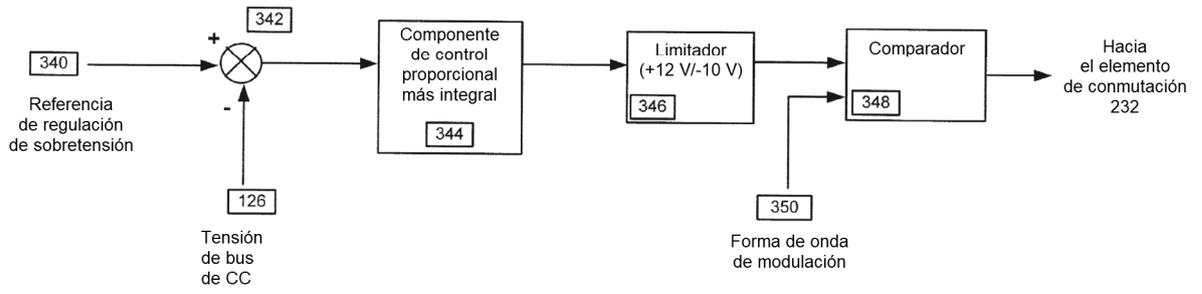
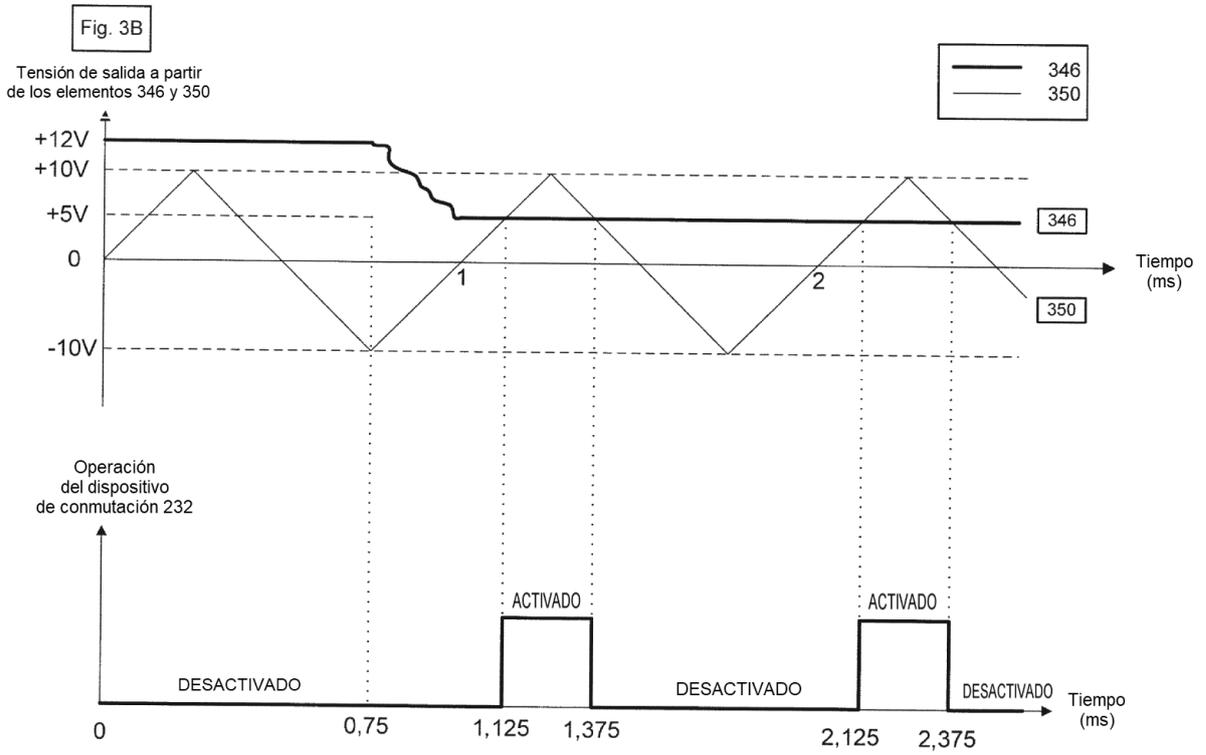
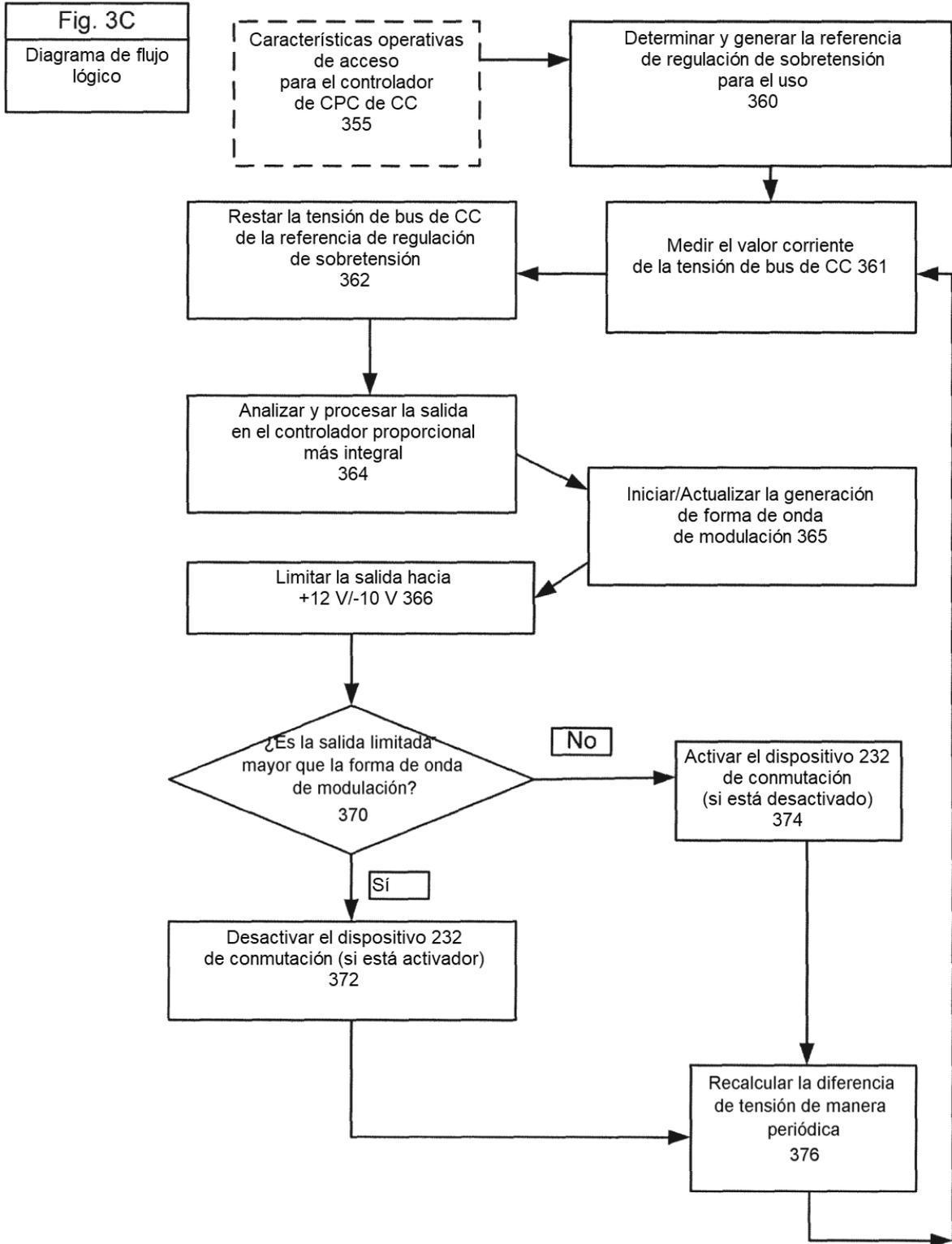


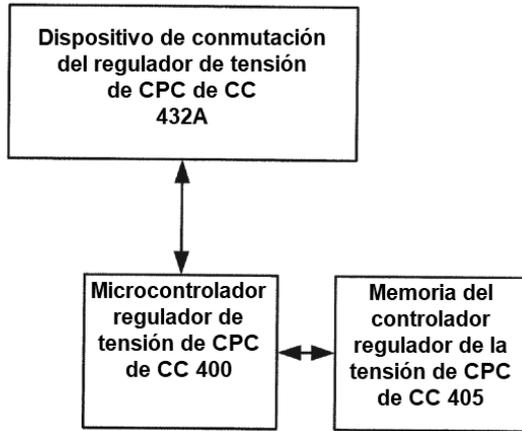
Fig. 3A







**Fig. 4A**  
Diagrama del controlador



**Fig. 4B**  
Diagrama del controlador del sistema HW

