

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 523**

51 Int. Cl.:

**G05F 1/67** (2006.01)

**H02M 7/42** (2006.01)

**H02M 7/537** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2011** **E 11193666 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018** **EP 2469372**

54 Título: **Procedimientos y sistemas de operación de un convertidor de potencia de dos etapas**

30 Prioridad:

**21.12.2010 US 974444**

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

**06.06.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WAGONER, ROBERT GREGORY;**  
**SMITH, DAVID;**  
**RITTER, ALLEN MICHAEL y**  
**SHEPARD, MARK EUGENE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 671 523 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

Procedimientos y sistemas de operación de un convertidor de potencia de dos etapas

Las realizaciones descritas en el presente documento se refieren en general a la generación de energía solar, y más específicamente, a procedimientos y sistemas para la operación de un convertidor de potencia de dos etapas.

- 5 La energía solar se ha convertido cada vez más una atractiva fuente de energía y ha sido reconocida como una forma alternativa limpia y renovable de energía. La energía solar en forma de luz solar puede convertirse en energía eléctrica mediante células solares. Un término más general para los dispositivos que convierten la luz en energía eléctrica es "células fotovoltaicas". La luz del sol es un subconjunto de luz. Por lo tanto, las células solares son un subconjunto de células fotovoltaicas (PV). Una célula fotovoltaica comprende un par de electrodos y un material
- 10 fotovoltaico absorbente de la luz dispuesto entre los mismos. Cuando el material fotovoltaico se irradia con luz, los electrones que se han confinado a un átomo en el material fotovoltaico se liberan mediante la energía de la luz para moverse libremente. Por lo tanto, se generan electrones libres y orificios. Los electrones libres y los orificios se separan de manera eficiente para que la energía eléctrica se extraiga continuamente. Las células fotovoltaicas comerciales actuales usan un material fotovoltaico semiconductor, típicamente silicio.
- 15 Para obtener una mayor corriente y tensión, las células solares están conectadas eléctricamente para formar un módulo solar. Además de una pluralidad de células solares, el módulo solar también puede incluir sensores, por ejemplo, un sensor de irradiación, un sensor de temperatura, un medidor de tensión, un medidor de corriente y/o un medidor de potencia. Los módulos solares también se pueden conectar para formar una cadena de módulos. Típicamente, las tensiones de CC emitidas por las cadenas de módulos se proporcionan a un inversor de red, por
- 20 ejemplo, un inversor de tensión de CC a CA. El inversor de tensión de CC a CA convierte la tensión de CC en corriente o tensión trifásica de corriente alterna (CA). La salida de CA trifásica del inversor de CC a CA se proporciona a un transformador de potencia, que aumenta la tensión para producir una CA trifásica de alta tensión que se aplica a una red eléctrica.

- 25 La electricidad aplicada a la red eléctrica se requiere para satisfacer las expectativas de conectividad de red. Estas expectativas abordan los problemas de seguridad, así como preocupaciones sobre la calidad de la energía. Por ejemplo, las expectativas de conectividad de la red incluyen operar el sistema de generación de energía durante un evento transitorio, por ejemplo, una sobrecarga de energía o fallo de energía a lo largo de la red eléctrica. Esta capacidad puede denominarse paso de baja tensión (LVRT) o paso de tensión cero (ZVRT). Un evento LVRT/ZVRT es una condición donde la tensión de la red de corriente alterna (CA) es baja en una fase de la red eléctrica o en
- 30 múltiples fases de la red eléctrica. Durante un evento LVRT/ZVRT, la capacidad de la red eléctrica para aceptar potencia desde el sistema de generación de energía es baja. Otra expectativa de conectividad de red es que la potencia generada esté condicionada para garantizar que la potencia coincida con la tensión y la frecuencia de la electricidad que fluye a través de la red eléctrica. El documento EP-A-2 256 579 se refiere a un sistema de generación de energía que incluye módulos fotovoltaicos para generar energía de CC. El sistema incluye un controlador para determinar un punto de máxima potencia para el sistema de generación de energía y un convertidor
- 35 elevador para recibir señales de control desde el controlador para aumentar la potencia del módulo fotovoltaico. Se proporciona un inversor multinivel de CC a CA para suministrar energía desde el módulo fotovoltaico a una red eléctrica.

- 40 El documento EP 2 290 803 A1 divulga un control de un inversor de potencia de dos etapas conectado a la red, que convierte la salida de una unidad fotovoltaica, durante eventos LVRT. Este documento forma parte del estado de la técnica según el artículo 54 (3) EPC.

Varios aspectos y realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

Se describirán ahora varios aspectos y realizaciones de ejemplo de la presente invención en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

- 45 La figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un sistema de generación de energía fotovoltaica (PV).
- La figura 2 es un diagrama de circuito del sistema de generación de energía fotovoltaica mostrado en la figura 1.
- La figura 3 es un gráfico de una curva V-I de matriz fotovoltaica típica y una curva de potencia típica de la matriz fotovoltaica a una temperatura e irradiación particulares.
- 50 La figura 4 es un gráfico de la curva V-I de la matriz fotovoltaica y la curva de potencia de la matriz fotovoltaica mostrada en la figura 3, y un primer punto de operación de potencia reducida.
- La figura 5 es un gráfico de la curva V-I de la matriz fotovoltaica y la curva de potencia de la matriz fotovoltaica mostrada en la figura 3, y un segundo punto de operación de potencia reducida.
- La figura 6 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para controlar la operación del convertidor de

potencia de dos etapas que se muestra en la figura 1, en respuesta a un evento de tensión de red.

La figura 7 es un diagrama de control de ejemplo aplicado mediante el controlador del sistema mostrado en la figura 1.

5 Varios de los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento facilitan el control de un convertidor de potencia de dos etapas durante un paso con evento de red, por ejemplo, un paso de baja tensión a través de evento de red (LVRT) y/o un paso de tensión cero a través de evento de red (ZVRT). Más específicamente, los procedimientos y sistemas descritos en este documento pueden controlar por separado un convertidor elevador y un inversor incluidos dentro del convertidor de potencia de dos etapas. Por ejemplo, los procedimientos y sistemas descritos facilitan la reducción de una salida del convertidor de potencia de dos etapas durante un paso a través de un evento de red ya sea aumentando una tensión de corriente continua (CC) de la matriz fotovoltaica o disminuyendo la tensión de CC de la matriz fotovoltaica.

15 Varios efectos técnicos de los procedimientos y sistemas descritos en este documento pueden incluir al menos uno de: (a) recibir una señal de sensor de tensión y una señal de sensor de corriente; (b) controlar un convertidor elevador para controlar una tensión de CC de la matriz fotovoltaica (PV); y (c) controlar el inversor para controlar la tensión a través de un bus de CC.

20 La figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un sistema 10 de generación de energía fotovoltaica (PV). En la realización a modo de ejemplo, el sistema 10 de generación de energía fotovoltaica incluye una matriz 12 fotovoltaica, un convertidor 14 de potencia de dos etapas, y un controlador 16 del sistema. El sistema 10 está configurado para proporcionar una tensión 20 de salida de corriente alterna (CA) para suministrarse a una carga, por ejemplo, pero sin limitarse a, un transformador o una red 22 eléctrica. La red 22 eléctrica puede incluir una red de distribución eléctrica, una red de transmisión eléctrica o cualquier tipo de red eléctrica configurada para suministrar electricidad. La matriz 12 fotovoltaica incluye al menos una célula fotovoltaica (no mostrada en la figura 1), por ejemplo, al menos una célula solar. Típicamente, una pluralidad de células solares están acopladas para formar una matriz solar, también denominada módulo solar, y múltiples módulos solares están acoplados para formar una cadena de módulos. Las células solares están dispuestas de esta manera para aumentar la tensión y la salida de corriente de la matriz solar. Aunque se describe en el presente documento como potencia de recepción generada por la matriz 12 fotovoltaica, el convertidor 14 de potencia de dos etapas puede estar provisto de potencia desde cualquier fuente de CC adecuada que permita que el sistema 10 funcione como se describe en el presente documento.

30 Hay que señalar que las realizaciones descritas en el presente documento no se limitan a ningún controlador del sistema particular y/o un procesador para realizar las tareas de procesamiento descritas en el presente documento. El término "procesador", tal como se usa ese término en el presente documento, pretende indicar cualquier máquina capaz de realizar los cálculos, o computaciones, necesarios para realizar las tareas descritas en el presente documento. El término "procesador" también pretende indicar cualquier máquina que sea capaz de aceptar una entrada estructurada y de procesar la entrada de acuerdo con reglas prescritas para producir una salida. También debe observarse que la frase "configurado para" tal como se utiliza en el presente documento significa que el procesador está equipado con una combinación de hardware y software para realizar las tareas de las realizaciones de la invención, como entenderán los expertos en la materia. El término procesador, como se usa en el presente documento, se refiere a unidades de procesamiento central, microprocesadores, microcontroladores, circuito de conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), circuitos lógicos y cualquier otro circuito o procesador capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente documento.

45 En el ejemplo de realización, el convertidor 14 de potencia de dos etapas incluye un convertidor 24 elevador de CC a CC y un inversor 26 de CC a CA. El controlador 16 del sistema está configurado para controlar de manera independiente la operación del convertidor 24 elevador y el inversor 26. El controlador 16 del sistema está configurado para determinar un punto de operación de potencia que se proporciona al convertidor 14 de potencia de dos etapas para controlar la operación del convertidor 14 de potencia de dos etapas. Por ejemplo, un punto de potencia máxima puede determinarse mediante el controlador 16 del sistema usando un proceso denominado seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). El controlador 16 del sistema proporciona una señal de punto de operación de potencia correspondiente al punto de máxima potencia para accionar el convertidor 24, y en respuesta, el convertidor 24 elevador está configurado para extraer una potencia máxima disponible de la matriz 12 fotovoltaica.

55 Más específicamente, una resistencia de carga se puede determinar basándose en la tensión y los valores de corriente determinados para dar como resultado una salida máxima de potencia. Por ejemplo, los valores de tensión y de corriente corresponden a una resistencia de carga particular, que es igual a la tensión dividida por la corriente. Como tal, el controlador 16 del sistema controla la resistencia de carga que el convertidor 24 elevador presenta a la matriz 12 fotovoltaica, y, por lo tanto, controla una tensión de CC de la matriz fotovoltaica. El control de la resistencia de carga facilita el control de la potencia de salida mediante el convertidor 24 elevador. El MPPT presenta una resistencia de carga óptima a la matriz 12 fotovoltaica, de manera que la potencia de salida del convertidor 24 elevador se maximiza. La resistencia de carga óptima coincide con una impedancia de la matriz 12 fotovoltaica que permite que el convertidor 24 elevador extraiga y genere la potencia máxima disponible de la matriz 12 fotovoltaica. El punto de operación de potencia también se puede ajustar para reducir la matriz 12 fotovoltaica (es decir, producir

menos potencia real de la disponible). La matriz fotovoltaica 12 puede acortarse para reducir la potencia proporcionada a la red eléctrica 22 en respuesta a, por ejemplo, una demanda de energía reducida o un evento de red.

5 Una salida 32 de convertidor 24 elevador está acoplada a una entrada 34 del inversor 26 mediante al menos un conductor, por ejemplo, un bus 36 de CC. La matriz 12 fotovoltaica está acoplada al convertidor 14 de potencia de dos etapas a través de al menos un conductor 40, y el inversor 26 está acoplado a la red 22 eléctrica a través de al menos un conductor 42. Aunque se ilustra como líneas simples, el conductor 40, el conductor 42 y el bus 36 de CC pueden incluir cualquier número de conductores separados que permitan que el sistema 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, si el sistema 10 de generación de energía fotovoltaica es un sistema monofásico, el conductor 40, el conductor 42 y el bus 36 de CC pueden incluir cada uno un solo conductor. Alternativamente, si el sistema de generación de energía fotovoltaica 10 es un sistema trifásico, el conductor 40, el conductor 42 y el bus 36 de CC pueden incluir cada uno tres conductores separados, uno para cada fase. Además, el sistema 10 de generación de energía fotovoltaica puede incluir cualquier cantidad adecuada de fases. El inversor 26 controla una tensión de bus de CC. Más específicamente, el controlador 16 del sistema controla la operación del inversor 26 para controlar la tensión del bus de CC. Además, el inversor 26 puede estar configurado para controlar un factor de potencia de la tensión 20 de CA emitido por el inversor 26 y proporcionado a la red 22 eléctrica.

La figura 2 es un diagrama de circuito del sistema 10 de generación de energía fotovoltaica (mostrado en la figura 1). Los componentes compartidos entre las figuras 1 y 2 se identifican con números de referencia idénticos. En la realización ejemplar, el sistema 10 incluye una pluralidad de dispositivos de medición de corriente configurados para medir una corriente que fluye a través del conductor 40 (es decir, entrada de corriente al convertidor 14 de potencia) y una pluralidad de dispositivos de medición de corriente configurados para medir una corriente que fluye a través del conductor 42 (es decir, salida de corriente por el convertidor 14 de potencia). El sistema 10 también incluye un dispositivo 54 de medición de tensión fotovoltaica configurado para medir el nivel de tensión de la matriz fotovoltaica. El dispositivo 50 de medición de corriente proporciona al controlador 16 del sistema (mostrado en la figura 1) una señal de corriente de la matriz fotovoltaica correspondiente a la corriente medida de la matriz fotovoltaica. El dispositivo 54 de medición de tensión proporciona al controlador 16 del sistema una señal de tensión de la matriz fotovoltaica correspondiente al nivel de tensión medida de la matriz fotovoltaica. El sistema 10 también incluye un dispositivo 56 de medición de la tensión del bus de CC. El dispositivo 56 de medición de la tensión del bus de CC proporciona al controlador 16 del sistema una señal de tensión del bus de CC correspondiente a la tensión medida del bus de CC.

La figura 3 es un gráfico de una curva 70 V-I de matriz fotovoltaica típica y una curva 72 de potencia típica de la matriz fotovoltaica a una temperatura e irradiación particulares. La curva 70 V-I compara una tensión de CC de la matriz fotovoltaica con una corriente 76 de CC de la matriz fotovoltaica. La curva 72 de potencia compara la potencia 78 de salida mediante el convertidor 24 elevador con la corriente 76 de CC de la matriz fotovoltaica. Un punto 80 operativo de potencia máxima se determina identificando una potencia máxima en la curva 72 de potencia, identificada generalmente en el punto 82, y los valores correspondientes de tensión y corriente de la curva 70 V-I, identificados generalmente en el punto 84. El convertidor 14 de dos etapas está configurado para operar en el punto 80 operativo de máxima potencia para producir tanta potencia como la matriz 12 fotovoltaica puede producir para las condiciones dadas (es decir, valores de temperatura e irradiación dados). Sin embargo, a veces no es deseable operar el convertidor 14 de dos etapas en el punto 80 operativo de potencia máxima. Por ejemplo, durante un evento de LVRT, dado que hay baja tensión en la red 22 eléctrica, la red 22 eléctrica no tiene capacidad para aceptar potencia del sistema 10 de generación de energía. Por lo tanto, durante un evento de LVRT, el convertidor 14 de potencia de dos etapas está configurado para reducir temporalmente la salida 20 de potencia de CA hasta que se incremente la tensión en la red 22 eléctrica.

La figura 4 es un gráfico de la curva 70 V-I de la matriz fotovoltaica, la curva 72 de potencia de la matriz fotovoltaica, y un primer punto 86 operativo de potencia reducida. En la realización ejemplar, durante un paso a través de un evento de red, el convertidor 24 elevador opera en el primer punto 86 operativo de potencia reducida, que es un punto en la curva 70 V-I de la matriz fotovoltaica en un lado de alta corriente del punto 80 de potencia máxima (mostrado en la figura 3). La operación en el primer punto 86 operativo de potencia reducida reduce la tensión de la matriz fotovoltaica y regula la tensión de la matriz fotovoltaica a un nivel que permite que fluya suficiente potencia al convertidor 14 de dos etapas para suministrar la potencia de salida y las pérdidas necesarias. Por ejemplo, una suma de la potencia 78 de salida mediante el convertidor 14 de potencia y las pérdidas de potencia en el convertidor 14 de potencia debe ser suministrada por la matriz 12 fotovoltaica. En un primer punto 86 operativo de potencia reducida, la tensión de la matriz fotovoltaica se regula a un nivel por debajo de una tensión típica, por ejemplo, por debajo de una tensión asociada con el punto 80 de máxima potencia. La disminución de la tensión de la matriz fotovoltaica hace que la corriente de la matriz fotovoltaica aumente. La operación a un nivel de corriente de matriz fotovoltaica superior se facilita desviando la corriente de la matriz fotovoltaica en al menos uno de un transistor 88 bipolar de puerta aislada (IGBT) (mostrado en la figura 2) y un diodo 90 (mostrado en la figura 2) del convertidor 24 elevador, que permite que el convertidor 24 elevador opere a la tensión más baja de la matriz fotovoltaica.

La figura 5 es un gráfico de la curva 70 V-I de la matriz fotovoltaica, la curva 72 de potencia de la matriz fotovoltaica, y un segundo punto 92 operativo de potencia reducida. En una realización alternativa, durante un paso a través de un evento de red, el convertidor 24 elevador opera en el segundo punto 92 operativo de potencia reducida, que es

un punto en la curva 70 V-I de la matriz fotovoltaica en un lado de baja corriente del punto 80 de potencia máxima (mostrado en la figura 3). La operación en el segundo punto 92 operativo de potencia reducida aumenta la tensión de la matriz fotovoltaica y regula la tensión de la matriz fotovoltaica a un nivel que permite que fluya suficiente potencia al convertidor 14 de potencia de dos etapas para suministrar la potencia de salida y las pérdidas necesarias. En un segundo punto 92 operativo de potencia reducida, la tensión de la matriz fotovoltaica se regula a un nivel por encima de una tensión típica, por ejemplo, por encima de una tensión asociada con el punto 80 de máxima potencia. La operación a una mayor tensión de la matriz fotovoltaica, y una corriente de matriz fotovoltaica más baja, facilita la reducción de la salida 20 de potencia de CA.

La figura 6 es un diagrama 100 de flujo de un ejemplo de procedimiento 110 para controlar la operación de un convertidor de potencia de dos etapas, por ejemplo, un convertidor 14 de potencia de dos etapas (mostrado en la figura 1), en respuesta a un evento de tensión de red (por ejemplo, evento LVRT o evento ZVRT). En la realización de ejemplo, el procedimiento 110 incluye recibir 120 señales del sensor de tensión y de corriente. Por ejemplo, el controlador 16 del sistema recibe 120 una señal de tensión de la matriz fotovoltaica y una señal de corriente de la matriz fotovoltaica desde los dispositivos 50 y 52 de medición (mostrados en la figura 2). El controlador 16 del sistema también recibe 120 una señal de tensión del bus de CC y una señal de corriente del bus de CC desde, por ejemplo, los dispositivos 54 y 56 de medición.

En el ejemplo de realización, el procedimiento 110 también incluye proporcionar 122 una señal operativa del convertidor elevador a un convertidor elevador, por ejemplo, el convertidor 24 elevador (que se muestra en la figura 1) para controlar la tensión de CC de la matriz fotovoltaica (PV). El procedimiento 110 también incluye proporcionar 124 una señal operativa del inversor a un inversor, por ejemplo, el inversor 26 de CC a CA (mostrado en la figura 1) para controlar la tensión del bus de CC.

La señal operativa convertidor elevador proporcionada 122 por el controlador 16 del sistema controla el convertidor 24 elevador para minimizar la potencia de salida durante al menos uno de un evento LVRT y un evento ZVRT. Por ejemplo, el controlador 16 del sistema puede proporcionar al convertidor 24 elevador una señal de punto operativo de potencia reducida. Como se describió anteriormente, la señal de punto operativo de potencia reducida puede provocar que el convertidor 24 elevador reduzca la tensión de CC de la matriz fotovoltaica para minimizar la potencia de salida, o puede hacer que el convertidor 24 elevador aumente la tensión de CC de la matriz fotovoltaica para minimizar la potencia de salida.

La señal operativa del convertidor elevador proporcionada 122 por el controlador 16 del sistema también puede controlar el convertidor 24 elevador para aplicar un punto operativo de potencia reducida en respuesta a una tensión medida del bus de CC que cumple o excede un umbral de tensión predefinido. En la realización de ejemplo, el umbral de tensión predefinida se almacena y es accedido por el controlador 16 del sistema. Una tensión de bus de CC por encima del umbral de tensión predefinido puede dañar el convertidor 14 de potencia de dos etapas.

Además, el controlador 16 del sistema también puede controlar el convertidor 24 elevador para aplicar un punto operativo de potencia reducida en respuesta a una corriente de CC medida de la matriz fotovoltaica (es decir, la corriente continua proporcionada por la matriz 12 fotovoltaica) que cumple o excede un umbral de corriente predefinido. Como se describió anteriormente con respecto al umbral de tensión predefinida, una corriente de CC de una matriz fotovoltaica por encima del umbral de corriente predefinida puede dañar el convertidor 14 de potencia de dos etapas.

La figura 7 es un diagrama 150 de control de ejemplo aplicado por un controlador del sistema, por ejemplo, el controlador 16 del sistema (mostrado en la figura 1), para controlar la operación del convertidor 14 de potencia de dos etapas (mostrado en la figura 1). El diagrama 150 de control incluye cinco trayectorias de control, la primera trayectoria 160, la segunda trayectoria 162, la tercera trayectoria 164, la cuarta trayectoria 166 y la quinta trayectoria 168. Un nivel 170 de tensión de la matriz fotovoltaica se determina usando el diagrama 150 de control. Más específicamente, se proporciona una señal operativa (por ejemplo, un comando de tensión) correspondiente al nivel 170 de tensión de la matriz fotovoltaica a un convertidor elevador, por ejemplo, un convertidor 24 elevador (mostrado en la figura 1). El convertidor 24 elevador está configurado para aplicar la señal operativa, por ejemplo, para ajustar una resistencia de carga aplicada a la matriz 12 fotovoltaica (mostrada en la figura 1). En realizaciones que incluyen fases múltiples, las salidas del regulador de equilibrio de corriente se agregan a la señal operativa, y luego cada una se divide por la tensión del bus de CC para obtener un comando de modulación para cada fase.

En la realización ejemplar, la primera trayectoria 160 se utiliza durante la operación normal del convertidor 14 de potencia de dos etapas. Una tensión 172 de la matriz fotovoltaica se suma y se compara con un comando 174 de la tensión fotovoltaica, dando como resultado una señal 176 de error de la tensión fotovoltaica. El comando 174 de la tensión fotovoltaica se determina por el controlador 16 del sistema basado al menos parcialmente en el punto operativo de potencia. La señal 176 de error de la tensión fotovoltaica se multiplica por una ganancia 178 y se alimenta a través de un interruptor 180 de selección a un nodo 182 que alimenta una salida del controlador del sistema (no mostrada en la figura 7).

En la realización ejemplar, la segunda trayectoria 162 está configurada para tomar el control cuando una corriente 190 de la matriz fotovoltaica supera un umbral 192 de corriente de la matriz fotovoltaica. La corriente 190 de la

matriz fotovoltaica se suma y se compara con el umbral 192 de corriente de la matriz fotovoltaica predefinida (por ejemplo, una referencia de corriente máxima fotovoltaica), dando como resultado una señal 194 de error de sobrecorriente fotovoltaica. La señal 194 de error de sobrecorriente fotovoltaica se multiplica por una ganancia 196 y se alimenta a través de un interruptor 198 de selección al nodo 182.

5 En la realización ejemplar, la tercera trayectoria 164 está configurada para tomar el control si una potencia 200 real de la matriz fotovoltaica supera un umbral 210 predefinido (por ejemplo, una referencia de potencia máxima de la matriz fotovoltaica), que se produce, por ejemplo, durante un evento de LVRT o ZVRT. La potencia 200 de la matriz fotovoltaica se suma y se compara con la referencia 210 de potencia máxima de la matriz fotovoltaica, lo que da como resultado una señal 212 de error de sobretensión fotovoltaica. La señal 212 de error se multiplica por una ganancia 214 y se alimenta a través de un interruptor 216 de selección al nodo 182. La referencia 210 de potencia máxima de la matriz fotovoltaica puede cambiar, ya sea como resultado de una demanda de potencia reducida desde un control de nivel superior o como resultado de un evento de LVRT o ZVRT.

15 En la realización ejemplar, la cuarta trayectoria 166 está configurada para tomar el control si una tensión 220 de bus de CC cae durante un evento de LVRT o ZVRT. El nivel 220 de tensión del bus de CC se suma y se compara con una referencia 222 de tensión mínima del bus de CC, lo que da como resultado una señal 224 de error de sub-tensión. La señal 224 de error de sub-tensión se multiplica por una ganancia 226 y se alimenta a través de un interruptor 228 de selección al nodo 182. Como se describió anteriormente, el inversor 26 de CC a CA y el convertidor 24 elevador se controlan independientemente, y el inversor 26 de CC a CA controla la tensión 220 del bus de CC. Sin embargo, si la tensión 220 del bus de CC se reduce por debajo de la referencia 222 de tensión mínima del bus de CC, la corriente del bus de CC puede aumentar a un nivel que puede dañar el convertidor 14 de potencia de dos etapas. En esta situación, el controlador 16 del sistema controla el convertidor 24 elevador para aumentar la tensión 220 del bus de CC. La cuarta trayectoria 166 facilita la derivación de la tercera trayectoria 164, que permite que el convertidor 24 elevador suministre pérdidas de convertidor e inversor durante un evento de LVRT o ZVRT de duración prolongada y/o después de un salto de fase en la red 22 eléctrica.

25 En la realización ejemplar, la quinta trayectoria 168 se configura para tomar el control si la tensión 220 del bus de CC excede una referencia 230 de tensión máxima del bus de CC. Si la tensión 220 del bus de CC excede la referencia 230 de tensión máxima del bus de CC, que es un nivel de tensión que puede causar daños al convertidor 14 de potencia de dos etapas, se proporciona una señal desde la quinta trayectoria 168 al nodo 182.

30 Por otra parte, uno o más medios legibles por ordenador que tienen componentes ejecutables por ordenador pueden estar configurados para controlar la operación de un convertidor de potencia de dos etapas. Los componentes ejecutables por ordenador pueden incluir: un componente de interfaz que, cuando es ejecutado por al menos un procesador, hace que el al menos un procesador reciba una señal de medición de tensión y una señal de medición de corriente; un componente de memoria que, cuando es ejecutado por al menos un procesador, hace que el al menos un procesador almacene al menos un algoritmo para determinar los comandos de tensión de la matriz fotovoltaica correspondientes a puntos operativos de potencia reducida; y un componente de análisis que, cuando es ejecutado por al menos un procesador, hace que el al menos un procesador genere señales operativas que controlan la operación del convertidor de potencia de dos etapas.

40 Algunas de las realizaciones descritas en el presente documento abarcan uno o más medios legibles por ordenador, en el que cada medio puede estar configurado para incluir o incluye en el mismo datos o instrucciones ejecutables por ordenador para la manipulación de datos. Las instrucciones ejecutables por ordenador incluyen estructuras de datos, objetos, programas, rutinas u otros módulos de programa a los que se puede acceder mediante un sistema de procesamiento, tal como uno asociado a un ordenador de propósito general capaz de realizar varias funciones diferentes o uno asociado a un ordenador de propósito especial capaz de realizar un número limitado de funciones. Aspectos de la divulgación transforman un ordenador de propósito general en un dispositivo informático de propósito especial cuando se configura para ejecutar las instrucciones descritas en el presente documento. Las instrucciones ejecutables por ordenador hacen que el sistema de procesamiento realice una función particular o grupo de funciones y son ejemplos de medios de código de programa para implementar etapas para los procedimientos descritos en el presente documento. Además, una secuencia particular de las instrucciones ejecutables proporciona un ejemplo de actos correspondientes que pueden usarse para implementar dichas etapas. Ejemplos de medios legibles por ordenador incluyen memoria de acceso aleatorio ("RAM"), memoria de solo lectura ("ROM"), memoria de solo lectura programable ("PROM"), memoria de solo lectura programable borrable ("EPROM"), memoria de solo lectura programable borrable eléctricamente ("EEPROM"), memoria de solo lectura de disco compacto ("CD-ROM") o cualquier otro dispositivo o componente que sea capaz de proporcionar datos o instrucciones ejecutables a las que pueda acceder un sistema de procesamiento.

55 Un dispositivo de ordenador o de computación tal como se describe en el presente documento tiene uno o más procesadores o unidades de procesamiento, memoria del sistema, y alguna forma de medios legibles por ordenador. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios legibles por ordenador comprenden medios de almacenamiento informático y medios de comunicación. Los medios de almacenamiento informático incluyen medios volátiles y no volátiles, extraíbles y no extraíbles implementados en cualquier procedimiento o tecnología para el almacenamiento de información, tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos. Los medios de comunicación típicamente incorporan instrucciones legibles por ordenador, estructuras de

datos, módulos de programa u otros datos en una señal de datos modulada, tal como una onda portadora u otro mecanismo de transporte e incluye cualquier medio de suministro de información. Combinaciones de cualquiera de lo anterior también se incluyen dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

5 Las realizaciones descritas anteriormente pueden facilitar una operación eficiente y rentable de un convertidor de potencia de dos etapas. El sistema de control descrito en el presente documento controla la operación del convertidor de potencia de dos etapas para facilitar LVRT y ZVRT.

10 Ejemplos de realización de un sistema de generación de energía que incluye un convertidor de potencia de dos etapas se han descrito anteriormente en detalle. Los procedimientos y los sistemas no se limitan a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino más bien, los componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar de forma independiente y por separado de otros componentes y/o etapas que se describen en este documento.

15 Aunque las características específicas de las diversas realizaciones de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por motivos de conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede referenciarse y/o reivindicarse en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

20 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la realización y el uso de dispositivos o sistemas y la realización de cualquiera de los procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Tales otros ejemplos están destinados a estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (14) de conversión de potencia para proporcionar potencia a una red (22) eléctrica, que comprende:

un convertidor (24) elevador acoplado a una matriz (12) fotovoltaica (PV) y configurado para controlar una tensión de la matriz PV;

5 un inversor (26) acoplado al convertidor (24) elevador mediante un bus (36) de CC y configurado para convertir una tensión de bus de CC en corriente o tensión de CA para que sea proporcionada a la red (22) eléctrica;

un dispositivo (54) de medición de tensión PV configurado para medir el nivel de tensión PV;

10 un dispositivo (56) de medición de tensión del bus de CC para proporcionar al controlador (16) del sistema una señal de tensión del bus de CC correspondiente a una tensión del bus de CC medida; y

un controlador (16) del sistema configurado para controlar la operación del convertidor (24) elevador y el inversor (26) durante la operación normal y en respuesta a al menos uno de un evento de red de paso de baja tensión (LVRT) y un evento de red de paso de tensión cero (ZVRT), en el que en respuesta a al menos uno de un evento de LVRT y un evento de ZVRT, el controlador (16) del sistema está configurado para:

determinar un punto operativo de potencia reducida; y

15 proporcionar una señal de punto operativo de potencia reducida, correspondiente al punto operativo de potencia reducida, al convertidor (24) elevador, que en respuesta a la señal del punto operativo de potencia reducida se configura para ajustar la tensión de la matriz PV;

**caracterizado porque** el controlador (16) del sistema está configurado además para:

20 detectar si la tensión (220) del bus de CC medida cae por debajo de una referencia (222) de tensión mínima del bus de CC y a continuación controlar el convertidor (24) elevador en base a una señal (224) de error de sub-tensión, que corresponde a la diferencia entre la tensión (220) del bus de CC medida y la referencia (222) de tensión mínima del bus de CC, para aumentar la tensión (220) del bus de CC.

25 2. Un sistema (14) según la reivindicación 1, en el que dicho convertidor (24) elevador comprende un diodo (90) que tiene un cátodo conectado a una entrada del inversor (26) y un transistor (88) bipolar de puerta aislada (IGBT) conectado entre el ánodo del diodo (90) y una entrada de conexión a tierra del inversor (26).

3. Un sistema (14) según la reivindicación 1 o 2, en el que el convertidor (24) elevador está configurado para aumentar la tensión de la matriz PV en respuesta a la señal del punto operativo de potencia reducida, causando una disminución en la corriente de la matriz PV y una reducción en potencia proporcionada a dicho al menos un conductor (36).

30 4. Un sistema (14) según cualquier reivindicación anterior, en el que el convertidor (24) elevador está configurado para reducir la tensión de la matriz PV en respuesta a la señal del punto operativo de potencia reducida, provocando un aumento en la corriente de la matriz PV y una reducción en la potencia proporcionada a dicho al menos un conductor (36).

35 5. Un sistema (14) según cualquier reivindicación anterior, en el que el controlador (16) del sistema está configurado además para proporcionar la señal del punto operativo de potencia reducida al convertidor (24) elevador en respuesta a al menos una de una corriente dentro del al menos un conductor (36) que excede un umbral de corriente máxima predefinido y una caída de tensión a través de al menos un conductor que excede un umbral de tensión máxima predefinido.

40 6. Un sistema (14) según cualquier reivindicación anterior, en el que el convertidor (24) elevador está configurado para reducir la tensión de la matriz PV para proteger el inversor (26) de niveles de corriente por encima del umbral de corriente máxima predefinido.

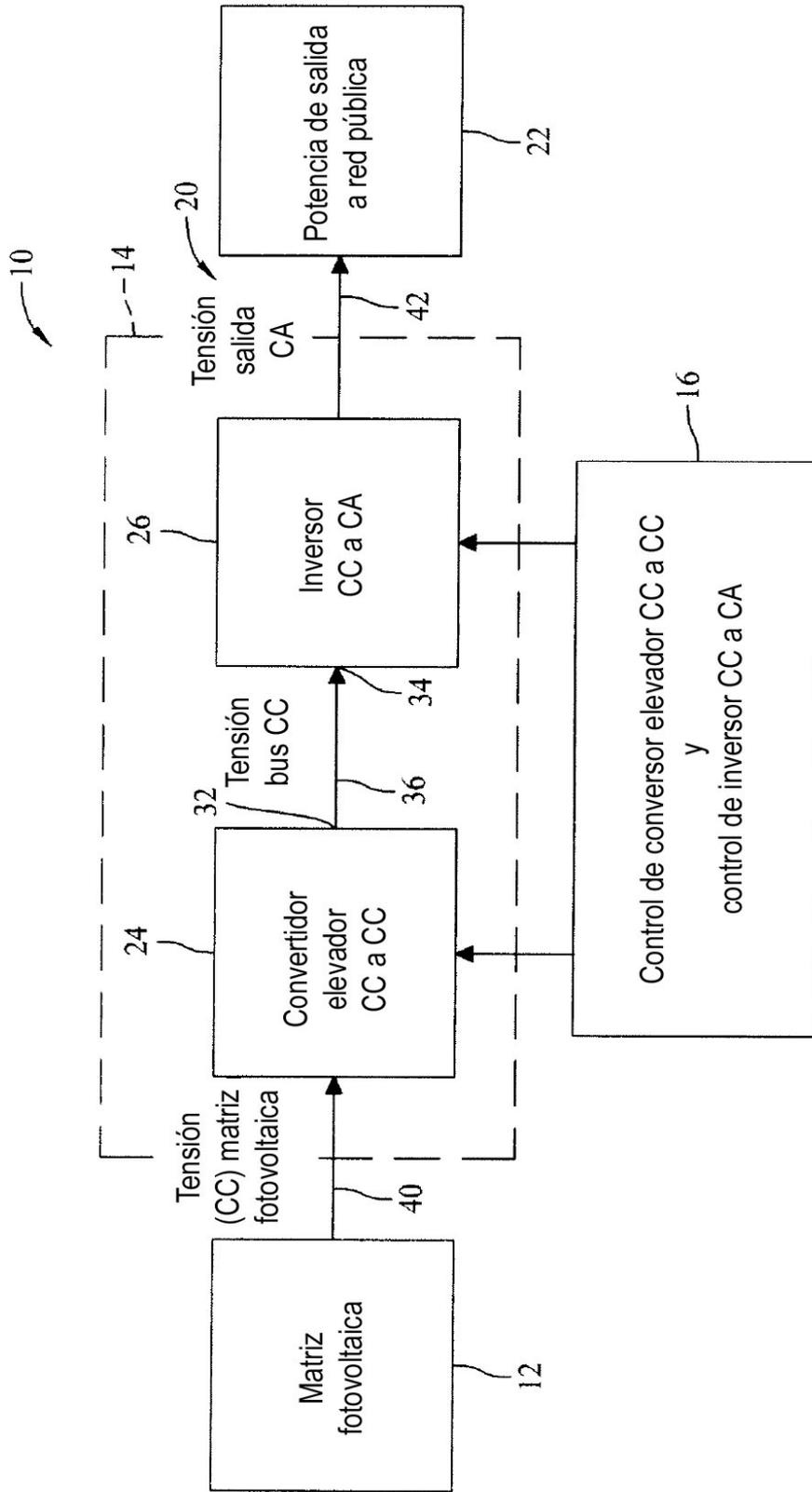


FIG. 1

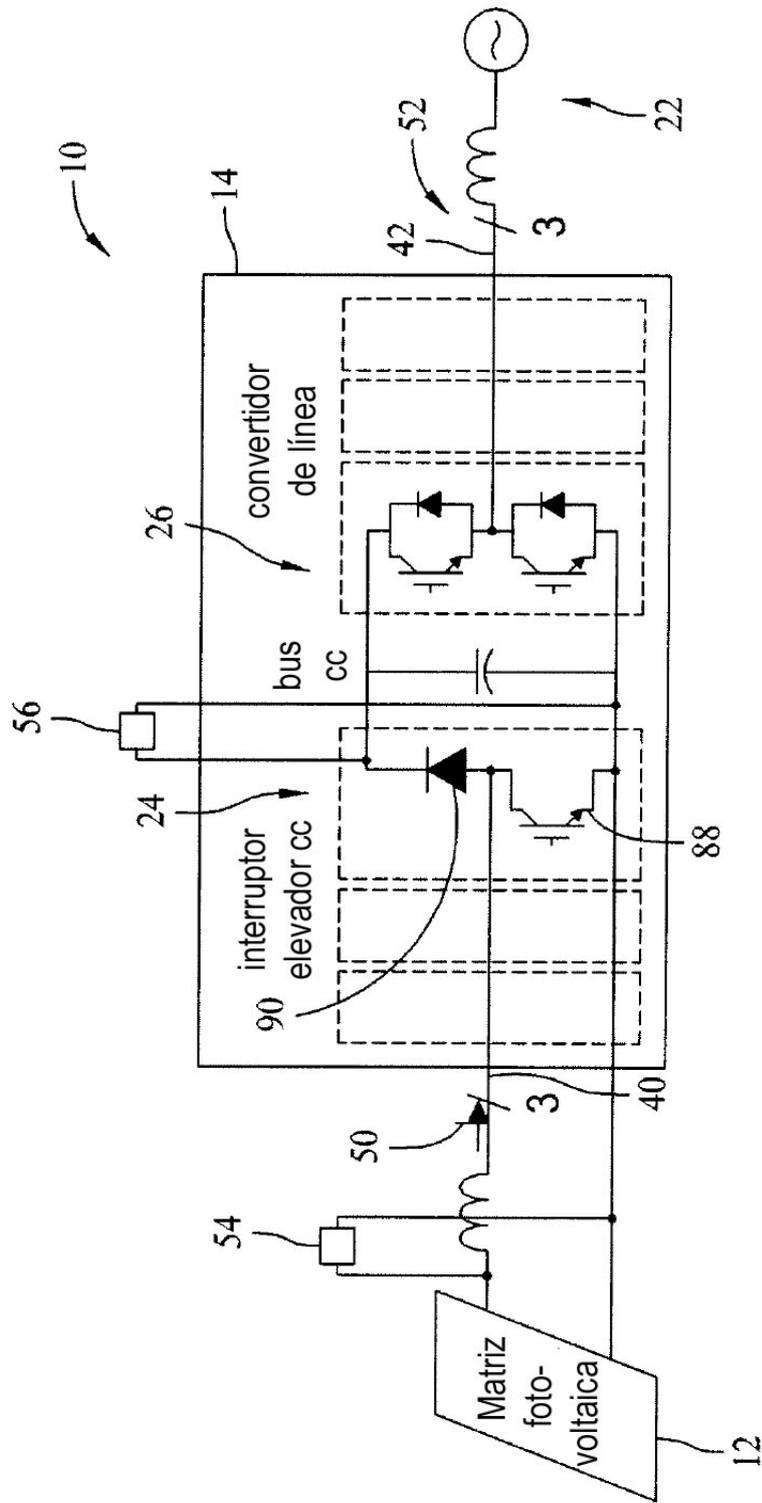


FIG. 2

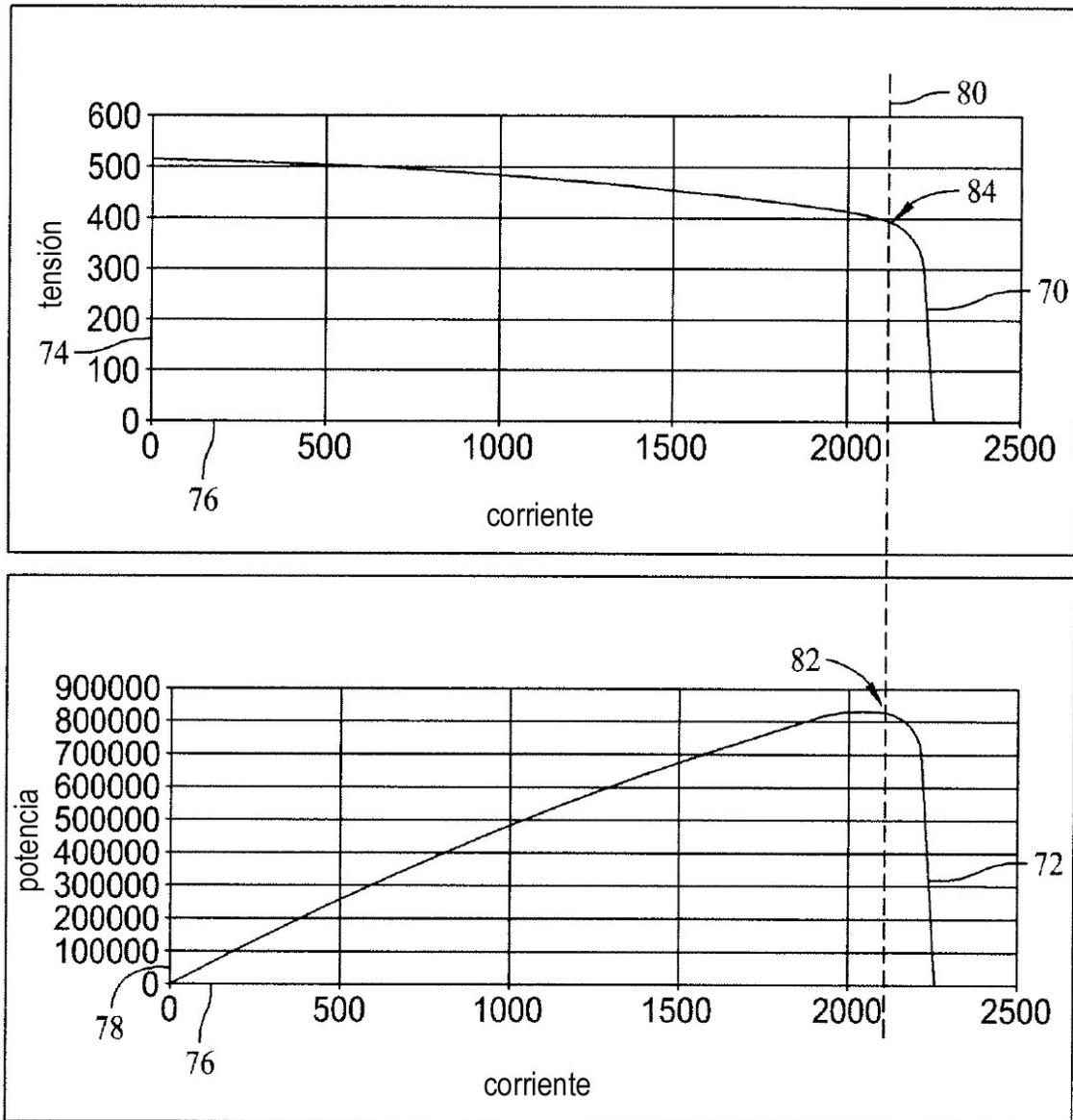


FIG. 3

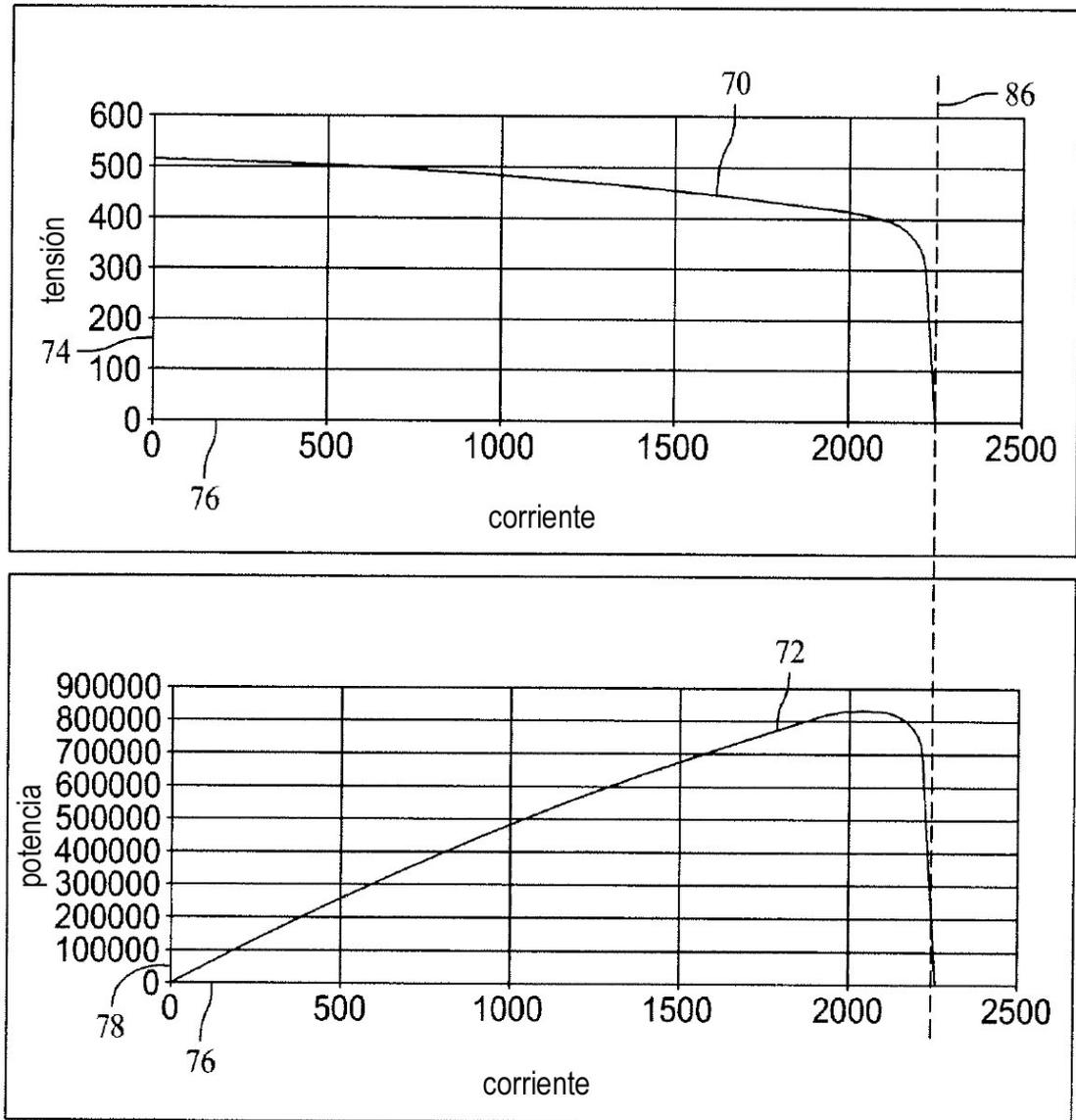


FIG. 4

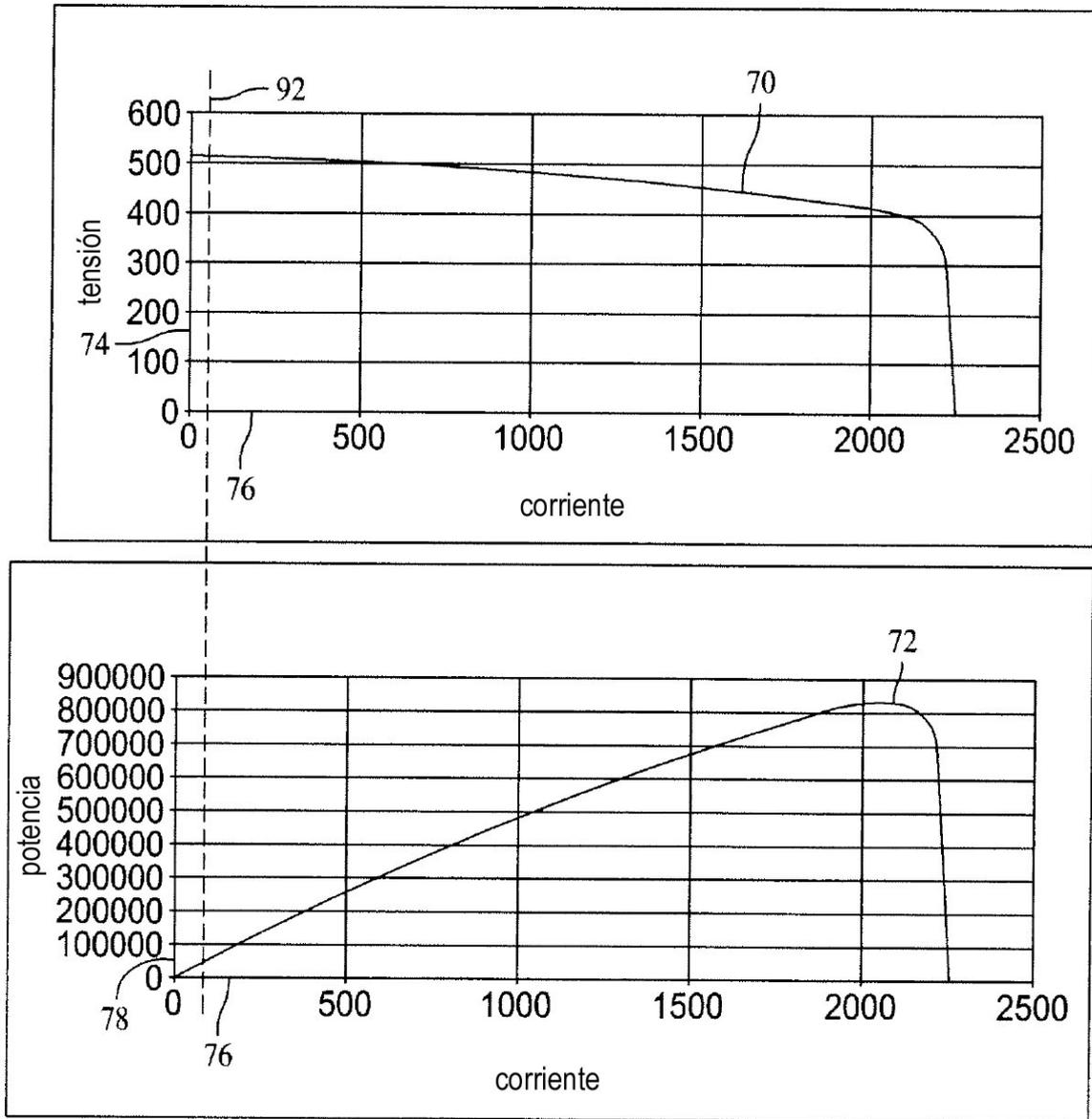


FIG. 5

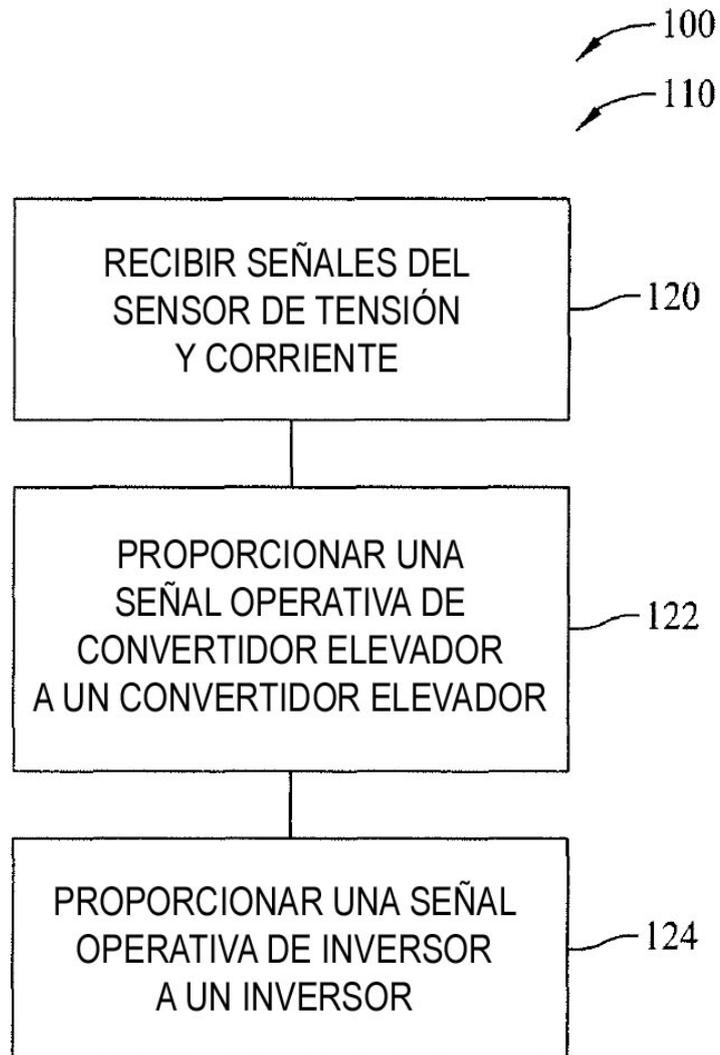


FIG. 6

