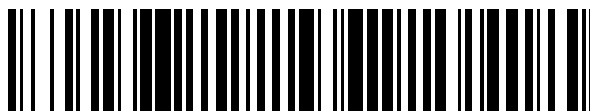


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 988**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2011** **E 11193928 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018** **EP 2469681**

54 Título: **Procedimientos y sistemas de operación de un sistema de generación de energía**

30 Prioridad:

21.12.2010 US 974469

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

06.03.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

TEICHMANN, RALPH y
O'BRIEN, KATHLEEN ANN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 702 988 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 sistema de generación de energía

Antecedentes de la invención

5 Las realizaciones descritas en el presente documento se refieren en general a un sistema de generación de energía fotovoltaica (FV) y, más específicamente, a sistemas para acoplar múltiples fuentes de energía de corriente continua (CC) monofásica de entrada variable a una red simétrica de corriente alterna (CA) trifásica.

10 La energía solar se ha convertido cada vez más en una fuente atractiva de energía y ha sido reconocida como una forma de energía alternativa limpia y renovable. 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 la luz. Por lo tanto, las células solares son un subconjunto de las células fotovoltaicas (FV). Una célula fotovoltaica comprende un par de electrodos y un material FV que absorbe la luz dispuesto entre ellos. Cuando el material FV se irradia con luz, los electrones que se han confinado a un átomo en el material FV son liberados por la energía luminica para moverse libremente. Así, se generan electrones libres y huecos. Los electrones libres y los huecos se separan de manera eficiente para que se extraiga energía eléctrica de forma continua. Las células FV comerciales actuales utilizan un material FV semiconductor, típicamente silicio.

20 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 irradiancia, un sensor de temperatura y/o un medidor de potencia. Los módulos solares también se pueden conectar para formar una cadena de módulos. Por lo general, las tensiones de salida de CC de las cadenas de módulos se proporcionan a un inversor de red, por ejemplo, un inversor de tensión de CC a CA. El inversor de tensión de CC a CA convierte la tensión de CC en una tensión o corriente de corriente alterna (CA) monofásica o trifásica. La salida de CA trifásica se puede proporcionar a un transformador de potencia, que aumenta la tensión para producir una CA de alta tensión trifásica que se aplica a una red de distribución eléctrica.

25 La electricidad aplicada a la red de distribución eléctrica es necesaria para cumplir con las expectativas de conectividad de la red. Estos requisitos abordan los problemas de seguridad así como los problemas de calidad de la energía. Por ejemplo, las expectativas de conectividad de la red incluyen facilitar la desconexión del sistema de generación de energía de la red en caso de un evento transitorio, por ejemplo, una sobrecarga de energía o un fallo de suministro de energía. Otra expectativa de conectividad de red es que la energía generada se condicione para garantizar que la energía coincida con la tensión y la frecuencia de la electricidad que fluye a través de la red. Por ejemplo, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ha redactado una norma que aborda la generación distribuida conectada a la red, incluidos los sistemas de energía renovable (IEEE 1547-2003). Underwriters Laboratories (UL) también ha desarrollado una norma, UL 1741, para certificar inversores, convertidores, controladores de carga y controladores de salida para sistemas de energía renovable autónomos y conectados a la red que producen energía. La norma UL 1741 verifica que los inversores cumplan la norma IEEE 30 1547 para aplicaciones conectadas a la red. Se pueden encontrar ejemplos de sistemas de la técnica anterior en la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos US 2009/000654 A1 y US 2010/244575 A1.

40 Específicamente, un sistema de generación de energía FV conectado a la red debe cumplir con los requisitos de interconexión de servicios públicos, incluida la respuesta positiva frente a huecos de tensión (LVRT), la regulación de la tensión y la corrección del factor de potencia.

Breve descripción de la invención

45 La invención reside en un sistema de generación de energía fotovoltaica (FV) que comprende una pluralidad de unidades colectoras FV, cada una de las cuales comprende al menos una célula FV y un inversor monofásico del lado del colector. La pluralidad de unidades colectoras FV están configuradas para acoplarse con una carga de corriente alterna (CA) polifásica. El sistema también comprende un inversor del lado de la red acoplado entre el inversor monofásico del lado del colector de cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV y la carga. El sistema también comprende un controlador del sistema acoplado en comunicación a cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV y configurado para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV. El controlador del sistema está además configurado para coordinar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV y el inversor del lado de la red; control del funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV para controlar por separado la potencia real y reactiva aplicada a cada fase de la carga de CA polifásica; y controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV a través de al menos uno de un evento de respuesta positiva frente a huecos de tensión (LVRT) y un evento de respuesta positiva frente a tensión cero (ZVRT).

55 En otro aspecto, la invención reside en un procedimiento para convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para liberar una carga eléctrica, en el que la potencia de CC se produce mediante una pluralidad de fuentes de alimentación de entrada variable. El procedimiento comprende proporcionar una pluralidad de unidades colectoras fotovoltaicas (FV) que incluyen cada una al menos una célula fotovoltaica y un inversor monofásico del lado del colector. La pluralidad de unidades colectoras FV está configurada para generar una tensión de CC y

convertir la tensión de CC en una salida de CA monofásica. El procedimiento comprende además acoplar un inversor del lado de la red entre el inversor monofásico del lado del colector de cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV y la carga eléctrica. El procedimiento comprende además acoplar en comunicación al menos un controlador del sistema a la pluralidad de unidades colectoras FV; y programar el controlador del sistema para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV, incluida la programación de al menos un controlador del sistema para coordinar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV y el inversor del lado de la red; control del funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV para controlar por separado la potencia real y reactiva aplicada a cada fase de la carga de CA polifásica; y controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV a través de al menos un evento de respuesta positiva ante un hueco de tensión (LV RT) y un evento de respuesta positiva ante tensión cero (ZVRT).

En aún otro aspecto, la invención reside en un sistema de conversión de energía que comprende el sistema de generación de energía fotovoltaica (FV) anterior, en el que una pluralidad de inversores monofásicos del lado del colector están configurados para recibir tensión de corriente continua (CC) de entrada variable y para proporcionar una corriente alterna (CA) polifásica simétrica a una carga eléctrica.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán a continuación, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema conocido de generación de energía fotovoltaica (FV).

La figura 2 es un diagrama de bloques de una primera realización de ejemplo de un sistema de generación de energía fotovoltaica que incluye una pluralidad de inversores del lado del colector.

La figura 3 es un diagrama de bloques de una segunda realización de ejemplo del sistema de generación de energía fotovoltaica que se muestra en la figura 2.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo de un controlador de sistema que puede incluirse en el sistema de generación de energía FV que se muestra en la figura 2.

La figura 5 es un diagrama de bloques de una primera realización alternativa de un sistema de generación de energía FV que incluye una pluralidad de inversores del lado del colector.

La figura 6 es un diagrama de bloques de una segunda realización alternativa de un sistema de generación de energía FV que incluye una pluralidad de inversores del lado del colector.

La figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo para controlar la operación de los sistemas de generación de energía FV mostrados en las figuras 2-6.

Descripción detallada de la invención

Los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento facilitan el control de una pluralidad de fuentes de energía monofásicas de entrada variable para producir energía adecuada para la distribución y/o transmisión en una red eléctrica trifásica simétrica. Los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento cumplen con las expectativas de conectividad de la red, lo que incluye, entre otros, proporcionar simetría transitoria y de estado estable, controlar la potencia reactiva, responder a una corriente de falta simétrica o asimétrica, configurar una tasa de rampa y proporcionar capacidades de respuesta positiva ante huecos de tensión (LVRT), al tiempo que minimiza los gastos de capital, las pérdidas por conversión de energía y las pérdidas de línea. Los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento también facilitan la simetría de la red de apoyo durante un fallo temporal o la degradación permanente de una parte de los activos de generación de energía.

Los efectos técnicos de los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento incluyen al menos uno de: (a) proporcionar una pluralidad de unidades colectoras fotovoltaicas (FV), que incluyen cada una al menos una célula fotovoltaica y un inversor monofásico del lado del colector, en el que la pluralidad de unidades colectoras FV están configuradas para generar una tensión de CC y convertir la tensión de CC en una salida de CA monofásica; (b) acoplar en comunicación al menos un controlador del sistema a la pluralidad de unidades colectoras FV; y (c) programar el al menos un controlador del sistema para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV.

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema conocido de generación de energía fotovoltaica (FV) 10. El sistema 10 incluye un dispositivo colector fotovoltaico 12, un inversor 14, un transformador 16 y una red eléctrica 18. Como se hace referencia en el presente documento, la red eléctrica 18 es una red de conductores y dispositivos configurados para la distribución y/o transmisión de electricidad. Típicamente, el dispositivo colector FV 12 incluye una pluralidad de cadenas de módulos fotovoltaicos acoplados, por ejemplo, por un aparellaje de CC (no mostrado en la Figura 1), que recoge las tensiones de CC de las cadenas de módulos FV y genera una tensión de CC 30. La tensión de CC 30 se proporciona al inversor 14. El inversor 14 condiciona la tensión de CC 30. Por ejemplo, el

inversor 14 puede ser un inversor de tensión de CC/CA configurado para convertir la tensión de CC 30 en un CA 32 trifásica de baja tensión.

5 Se proporciona una CA 32 trifásica de baja tensión para alimentar el transformador 16. El transformador 16 genera una CA 34 trifásica de alta tensión, que se aplica a una carga, por ejemplo, la red eléctrica 18. El sistema 10 también incluye un controlador del sistema 36. El controlador del sistema 36 está acoplado al inversor 14 y configurado para controlar el funcionamiento del inversor 14.

10 La figura 2 es un diagrama de bloques de una primera realización de ejemplo de un sistema de generación de energía FV 100 que incluye una pluralidad de unidades colectoras FV 102. En la primera realización de ejemplo, la pluralidad de unidades colectoras FV 102 se acoplan en una configuración delta. La figura 3 es un diagrama de bloques de una segunda realización de ejemplo del sistema de generación de energía FV 100 que incluye la pluralidad de unidades colectoras FV 102. En la segunda realización de ejemplo, la pluralidad de unidades colectoras FV 102 están acopladas en una configuración en estrella, también referida como una configuración en Y.

15 Tanto en la primera realización de ejemplo como en la segunda realización de ejemplo, el sistema 100 de generación de energía fotovoltaica también incluye un inversor 104 del lado de la red, un transformador 106 de potencia y un controlador 108 del sistema. El sistema 100 de generación de energía fotovoltaica proporciona una CA trifásica simétrica para la red eléctrica 18 (mostrada en la Figura 1). Aunque en el presente documento se describe que proporciona CA a la red eléctrica 18, el sistema 100 puede proporcionar CA a cualquier carga adecuada. En la realización de ejemplo, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye un dispositivo colector FV y un inversor del lado del colector. Por ejemplo, una primera unidad colectora FV 120 incluye un primer inversor del lado del colector 122 acoplado a un primer dispositivo colector FV 124. Una segunda unidad colectora FV 126 incluye un segundo inversor del lado del colector acoplado a un segundo dispositivo colector FV 130. Una tercera unidad colectora FV 132 incluye un tercer inversor del lado del colector 134 acoplado a un tercer dispositivo colector FV 136. Una cuarta unidad colectora FV 138 incluye un cuarto inversor del lado del colector 140 acoplado a un cuarto dispositivo colector FV 142. Una quinta unidad colectora FV 144 incluye un quinto inversor del lado del colector 146 acoplado a un quinto dispositivo colector FV 148. Una sexta unidad colectora FV 150 incluye un sexto inversor del lado del colector 152 acoplado a un sexto dispositivo colector FV 154. Aunque se ilustra que incluye seis unidades colectoras FV, el sistema 100 puede incluir cualquier número adecuado de unidades colectoras que permita que el sistema 100 funcione como se describe en el presente documento. Los dispositivos colectores FV 124, 130, 136, 142, 148 y 154 pueden incluir una sola célula FV, una pluralidad de células fotovoltaicas ensambladas en un módulo fotovoltaico, una pluralidad de módulos fotovoltaicos ensamblados para formar una cadena de módulos fotovoltaicos o cualquier otra configuración de células fotovoltaicas que permiten que el sistema 100 funcione como se describe en el presente documento.

20 Debido a que cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye un dispositivo colector FV y un inversor del lado del colector, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 puede operar a aproximadamente un factor de potencia unitario. Operar cerca de un factor de potencia unitario facilita la liberación de una potencia real máxima con pérdidas de línea mínimas a la red 18. Además, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 también puede operar en un punto de potencia máxima para la combinación del dispositivo inversor/recolector. Más específicamente, cada inversor del lado del colector puede controlarse por separado para que coincida con la impedancia del dispositivo colector FV correspondiente y, por lo tanto, operar en el punto de máxima potencia. Por ejemplo, el primer inversor del lado del colector 122 es controlado por el controlador del sistema 108 para operar en el punto de máxima potencia para el primer dispositivo colector fotovoltaico 12. Ya que cada uno de la pluralidad de inversores puede operar a un punto de potencia máximo distinto, se extrae una potencia máxima única de los dispositivos colectores FV 124, 130, 136, 142, 148 y 154.

25 En la primera realización de ejemplo, que se muestra en la Figura 2, se aplica una salida de CA 158 monofásica de baja tensión por la pluralidad de unidades colectoras FV 102 entre dos de los tres conductores de un sistema trifásico, primer conductor 160, segundo conductor 162 o tercer conductor 164. Los inversores monofásicos 122, 128, 134, 140, 146 y 152 se pueden acoplar a la red eléctrica trifásica 18 de manera que cada inversor esté conectado entre dos de los tres conductores 160, 162, y 164. Los conductores 160, 162 y 164 están acoplados al transformador de potencia 106 y al inversor del lado de la red 104.

30 En la segunda realización de ejemplo, que se muestra en la Figura 3, la salida de CA 158 monofásica de baja tensión de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 se aplica al menos A uno de los tres conductores de un sistema trifásico, primer conductor 160, segundo conductor 162, o tercer conductor 164. Los inversores monofásicos 122, 128, 134, 140, 146 y 152 se pueden acoplar a la red trifásica de manera que una salida de cada uno de los inversores esté conectada a uno de los tres conductores y la salida restante de cada uno de los inversores está conectada a un conductor neutro 166. Los conductores 160, 162, 164 y 166 están acoplados al transformador de potencia 106 a través del inversor del lado de la red 104.

35 El transformador de potencia 106 puede ser un transformador trifásico estándar que genera una CA 174 trifásica de alta tensión para su aplicación a la red eléctrica 18 (que se muestra en la Figura 1). En la realización de ejemplo, el inversor del lado de la red 104 estabiliza y regula la tensión suministrada a la red 18. Durante la operación de estado estable del sistema 100, el inversor del lado de la red proporciona una CA trifásica simétrica. Durante eventos

transitorios, por ejemplo, eventos en red, tales como sobrecargas eléctricas a lo largo de la red eléctrica o eventos LVRT, el inversor 104 del lado de la red facilita el LVRT y la respuesta positiva ante tensión cero (ZVRT), por ejemplo, detectando y compensando la perturbación de tensión inyectando potencia reactiva en adelanto o en retraso en la red 18. Además, el inversor 104 del lado de la red también puede proporcionar una corrección del factor de potencia durante la operación de estado estable.

En la realización de ejemplo, el controlador del sistema 108 proporciona señales de control 176 al inversor 104 del lado de la red para realizar las funciones descritas en el presente documento. Además, el controlador del sistema 108 proporciona una o más de la pluralidad de unidades colectoras 102 y, más específicamente, al menos uno de los inversores del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152, con una señal de referencia del factor de potencia y/o una señal de reducción de potencia detectando un evento de red. El controlador del sistema 108 puede proporcionar información adicional a los inversores conectados a un conductor común 160, 162 o 164, incluidas las órdenes de potencia real y reactiva. El sistema 100 minimiza la coordinación necesaria entre los inversores 122, 128, 134, 140, 146 y 152, lo que facilita las demandas de procesamiento en el controlador 108 del sistema y facilita una mayor producción de energía de cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102. El sistema 100 facilita el funcionamiento de cada una de la pluralidad de unidades colectoras 102 en un punto de potencia máxima individual, elimina el cableado de CC entre las unidades colectoras 102 y el inversor 104 del lado de la red, y proporciona una reducción rápida de las unidades colectoras 102 durante un evento de red.

Además, los inversores del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152 permiten que el sistema 100 proporcione alimentación de CA trifásica simétrica incluso durante un fallo temporal y/o la degradación permanente de un subconjunto de la pluralidad de unidades colectoras FV 102. Por ejemplo, el sistema 100 proporciona alimentación de CA trifásica simétrica incluso si uno o más de los inversores del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152 han fallado. Si la pérdida de producción de uno o más de los inversores del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152 conduce a una asimetría no deseada en el sistema de generación 100, el convertidor de CC/CA 104 se controla de tal manera que la potencia real y reactiva se extrae de un conductor con exceso de generación de energía y se suministra a un conductor con falta de generación de energía. En algunas realizaciones, el sistema 100 también puede controlarse de manera que se presente un sistema de generación asimétrica controlada a la red eléctrica 18 para compensar las asimetrías de la red, tales como fallos monofásicos o cargas asimétricas. En otras palabras, el sistema 100 facilita el control por separado de la potencia real y reactiva aplicada a cada uno de los conductores 160, 162 y 164.

En algunas realizaciones, los inversores del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152 incluyen cada uno una unidad de memoria 178. Por ejemplo, la unidad de la memoria 178 está posicionada dentro, o acoplada al inversor del lado del colector 122. La unidad de memoria 178 almacena los parámetros operativos utilizados para controlar el funcionamiento del inversor 122 del lado del colector. Más específicamente, los parámetros operativos que permiten que el inversor 122 se desplace a través de un evento de red se pueden almacenar en la unidad de memoria 178. El evento de red puede ser identificado por el controlador del sistema 108 y/o identificado por el inversor 122. Por ejemplo, la unidad de memoria 178 puede almacenar un orden de potencia ante un umbral de tensión en red, una orden de retorno después de hueco de tensión y/o una orden de potencia reactiva. En algunas realizaciones, el inversor 122 funciona basándose en la orden de potencia de tensión de red umbral cuando una tensión de red es inferior a la tensión de red umbral almacenada. La de red umbral almacenada puede indicar la existencia de un evento de respuesta positiva ante huecos de tensión o un evento de respuesta positiva a tensión cero. La orden de retorno después de hueco de tensión puede incluir un período de tiempo predeterminado, después del cual se indica al inversor que comience a suministrar energía a la red eléctrica 18. La orden de retorno después de hueco de tensión también puede incluir una tasa de rampa predefinida, con la cual se indica al inversor que proporcione energía a la red eléctrica 18. La orden de potencia reactiva puede controlar la salida de potencia reactiva del inversor 122, incluso cuando el inversor 122 debe proporcionar potencia reactiva. El funcionamiento en respuesta a los parámetros operativos almacenados en la unidad de memoria 178 facilita el control autónomo del inversor 122 (es decir, el control del inversor 122 basado en parámetros operativos no recibidos desde el controlador del sistema 108). Además, la unidad de memoria 178 puede incluir un medio legible por ordenador, tal como, sin limitaciones, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria flash, una unidad de disco duro, una unidad de estado sólido, un disquete, una unidad flash, un disco compacto, un disco de vídeo digital y/o cualquier memoria adecuada que permita el almacenamiento, recuperación y/o ejecución de instrucciones y/o datos. Además, el controlador del sistema 108 puede ajustar los parámetros operativos almacenados antes de que ocurra un evento de red.

Además, en algunas realizaciones, la pluralidad de unidades colectoras FV 102 están dispersas geográficamente. El controlador del sistema 108 puede controlar la unidad colectora 120 para proporcionar un nivel de potencia reactiva diferente al que proporciona la unidad colectora 150. Cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV geográficamente dispersas 102 puede controlarse por separado para facilitar el funcionamiento equilibrado del sistema de generación de energía FV 100 y para minimizar las pérdidas internas del sistema al sistema 100.

La figura 4 es un diagrama de bloques de una realización de ejemplo del controlador del sistema 108 (mostrado en la Figura 1). En algunas realizaciones, el controlador del sistema 108 incluye un bus 180 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. Uno o más procesadores 182 están acoplados al bus 180 para procesar información, incluida la información de los sensores incluidos en las unidades colectoras FV 102. El procesador 182 puede incluir al menos un ordenador. Como se usa en el presente documento, el término ordenador

no se limita a los circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como un ordenador, sino que se refiere en términos generales a un procesador, un microcontrolador, un microcomputador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado de aplicación específica, y otros circuitos programables, y estos términos se usan indistintamente en el presente documento.

5 El controlador del sistema 108 también puede incluir una o más memorias de acceso aleatorio (RAM) 184 y/u otro u otros dispositivos de almacenamiento 186. Las RAM 184 y el o los dispositivos de almacenamiento 186 están acoplados al bus 180 para almacenar y transferir información y las instrucciones que deben ser ejecutadas por los procesadores 182. Las RAM 184 y/o el o los dispositivos de almacenamiento 186, (si se incluyen) también se
10 pueden usar para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones por parte de los procesadores 182. El controlador del sistema 108 también puede incluir una o más memorias de solo lectura (ROM) 188 y/u otros dispositivos de almacenamiento estático acoplados al bus 180 para almacenar y proporcionar información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) al o los procesadores 182. El o los procesadores 182 procesan la información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, sensores de irradiancia y medidores de potencia. Las instrucciones
15 que se ejecutan incluyen, sin limitación, algoritmos residentes de conversión y/o comparación. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

El controlador del sistema 108 también puede incluir, o puede estar acoplado a, el o los dispositivos de
20 entrada/salida 190. El o los dispositivos de entrada/salida 190 pueden incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al controlador del sistema 108 y/o a proporcionar salidas, tales como, entre otras, salidas de posicionamiento del panel solar y/o salidas de control del inversor. Se pueden proporcionar instrucciones a la RAM 184 desde el dispositivo de almacenamiento 186, incluyendo, por ejemplo, un disco magnético, un circuito integrado de memoria de solo lectura (ROM), un CD-ROM y/o DVD, a través de una conexión remota que sea inalámbrica o por cable, proporcionando acceso a uno o más medios accesibles electrónicamente.
25 En algunas realizaciones, los circuitos cableados pueden usarse en lugar de o en combinación con las instrucciones del software. Por lo tanto, la ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software, ya sean descritas y/o mostradas en el presente documento. Además, en la realización de ejemplo, el dispositivo o dispositivos de entrada/salida 190 pueden incluir, sin limitación, periféricos informáticos asociados con una interfaz de operador (por ejemplo, una interfaz de máquina humana (HMI)) como un ratón y un teclado (ninguno de ellos mostrado en la Figura 4). Además, en la realización de
30 ejemplo, los canales de salida adicionales pueden incluir, por ejemplo, un monitor de interfaz de operador y/o un dispositivo de alarma (ninguno mostrado en la Figura 4). El controlador del sistema 108 también puede incluir una interfaz de sensor 192 que permite que el controlador del sistema 108 se comuniquen con los sensores. La interfaz del sensor 192 puede incluir uno o más convertidores de analógico a digital que convierten las señales analógicas
35 en señales digitales que pueden ser utilizadas por los procesadores 182. El controlador del sistema 108 también puede estar acoplado a sistemas de control de supervisión externos, tal como un control de supervisión y sistema de adquisición de datos (SCADA), por ejemplo, un SCADA asociado con una empresa de servicios públicos y/o una subestación o controlador de red.

La figura 5 es un diagrama de bloques de una realización alternativa 200 de un sistema de generación de energía
40 FV que incluye una pluralidad de unidades colectoras FV 102. Los componentes comunes al sistema 100 (mostrado en las figuras 2 y 3) y al sistema 200 se identifican con números de referencia idénticos. En esta realización, el sistema de generación de energía FV 200 incluye un inversor 104 del lado de la red y el controlador del sistema 108. El sistema de generación de energía FV 200 también incluye un transformador de potencia 202. En esta realización, la pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye la primera unidad colectora FV 120, la segunda unidad colectora
45 FV 126, la tercera unidad colectora FV 132 y la cuarta unidad colectora FV 138. Cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye un dispositivo colector FV y un inversor monofásico del lado del colector. Como se ha descrito anteriormente, la primera unidad colectora FV 120 incluye el primer inversor del lado del colector 122 acoplado al primer dispositivo colector fotovoltaico 124. La segunda unidad colectora fotovoltaica 126 incluye el segundo inversor del lado colector acoplado al segundo dispositivo colector FV 130. La tercera unidad colectora
50 fotovoltaica 132 incluye el tercer inversor del lado del colector 134 acoplado al tercer dispositivo colector FV 136. La cuarta unidad colectora fotovoltaica 138 incluye un cuarto inversor del lado del colector acoplado al cuarto dispositivo colector FV 142.

En esta realización, las unidades colectoras FV 102 pueden configurarse para funcionar a cualquier factor de potencia, incluido el factor de potencia unitario. Además, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102
55 también puede funcionar en un punto de máxima potencia para la combinación del dispositivo de inversión/inversor. Por ejemplo, el primer inversor del lado del colector 122 está configurado para operar en el punto de máxima potencia para el primer dispositivo 12 de recogida FV. Debido a que cada uno de la pluralidad de inversores puede operar a un punto de potencia máxima distinto, se extrae una potencia máxima de los dispositivos colectores FV 124, 130, 136 y 142.

60 En la realización, como se muestra en la Figura 5, el transformador de potencia 202 emite una CA trifásica desde una CA bifásica. La primera unidad colectora 120 y la segunda unidad colectora 126 están acopladas y proporcionan una CA 260 de baja tensión que tiene una primera fase. La tercera unidad colectora 132 y la cuarta unidad colectora

138 están acopladas y proporcionan una CA 262 de baja tensión que tiene una segunda fase. El transformador de potencia 202 divide la CA 260 de baja tensión que tiene una primera fase (es decir, la corriente proporcionada por la primera unidad colectora FV 120 y la segunda unidad colectora FV 126), y la CA 262 de baja tensión que tiene una segunda fase (es decir, la corriente proporcionada por la tercera unidad colectora FV 132 y la cuarta unidad colectora FV 138) en CA trifásicas de alta tensión equilibradas 174 para la transmisión a través de la red eléctrica 18 (mostrada en la Figura 1). El transformador de potencia 202 puede incluir, pero sin limitaciones, un transformador Scott-T.

En esta realización, y como se ha descrito anteriormente con respecto al sistema 100, el inversor 104 del lado de la red estabiliza y regula la tensión suministrada a la red eléctrica 18. Durante la operación de estado estable del sistema 200, el inversor 104 del lado de red proporciona una CA trifásica simétrica. Durante eventos transitorios, por ejemplo, eventos en red como aumentos repentinos de energía a lo largo de la red eléctrica o eventos LVRT, el inversor 104 del lado de red facilita la LVRT, por ejemplo, detectando y compensando las perturbaciones de tensión inyectando potencia reactiva en adelanto y en retraso en la red eléctrica 18. Por lo tanto, el inversor 104 del lado de la red puede proporcionar una corrección del factor de potencia. En la realización de ejemplo, el controlador del sistema 108 proporciona señales de control 176 al inversor 104 del lado de la red para realizar las funciones descritas en el presente documento. Además, el controlador del sistema 108 proporciona una o más de la pluralidad de unidades colectoras 102, y más específicamente, al menos uno de los inversores 122, 128, 134 y 140, con una señal de restricción detectando un evento de red. El sistema 200 minimiza la coordinación necesaria entre los inversores 122, 128, 134 y 140, lo que facilita las demandas de procesamiento en el controlador 108 del sistema y facilita una mayor producción de energía de los dispositivos colectores FV 124, 130, 136 y 142. El sistema 200 facilita el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras 102 en un punto de potencia máxima individual, eliminando el cableado de CC entre las unidades del colector 102 y el inversor 104 del lado de la red, y proporcionando una reducción rápida de las unidades del colector FV 102 durante un evento de la red. Además, el sistema 200 reduce la complejidad del cableado en comparación con el sistema 100. Además, el sistema 200 reduce la cantidad de electrónica de potencia necesaria en el inversor 104 del lado de la red.

La figura 6 es un diagrama de bloques de otra realización alternativa 300 de un sistema de generación de energía fotovoltaica que incluye una pluralidad de unidades colectoras 102. Los componentes compartidos entre el sistema 100 (mostrado en las Figuras 2 y 3), el sistema 200 (mostrado en la Figura 4) y el sistema 300 se identifica con números de referencia idénticos.

En esta realización, como se muestra en la Figura 6, el sistema de generación de energía FV 300 incluye el controlador del sistema 108 y un transformador de energía 302. La pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye una primera unidad colectora FV 310, una segunda unidad colectora FV 312, una tercera unidad colectora FV 314, una cuarta unidad colectora FV 316, una quinta unidad colectora FV 318 y una sexta unidad colectora FV 320. Cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 incluye un dispositivo colector FV y un inversor monofásico del lado del colector. La primera unidad colectora FV 310 incluye un primer inversor del lado del colector 330 acoplado al primer dispositivo colector FV 124. La segunda unidad colectora FV 312 incluye un segundo inversor del lado del colector 332 acoplado al segundo dispositivo colector FV 130. La tercera unidad colectora FV 314 incluye un tercer inversor del lado del colector 334 acoplado al tercer dispositivo colector FV 136. La cuarta unidad colectora fotovoltaica 316 incluye un cuarto inversor del lado colector 336 acoplado al cuarto dispositivo colector fotovoltaico 142. La quinta unidad colectora FV 318 incluye un quinto inversor del lado del colector 338 acoplado al quinto dispositivo colector FV 148. La sexta unidad colectora FV 320 incluye un sexto inversor del lado del colector 340 acoplado al sexto dispositivo colector FV 154.

En esta realización, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 está configurada para funcionar en un amplio rango de factor de potencia, incluso en el factor de potencia unidad. La pluralidad de unidades colectoras FV 102 puede configurarse para operar, por ejemplo, pero sin limitaciones, un rango de factores de potencia de aproximadamente -0,9 a la unidad a 0,9. Además, cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 también puede funcionar en un punto de máxima potencia para la combinación de dispositivo de recogida/inversor. Por ejemplo, el primer inversor 330 del lado del colector está configurado para operar en el punto de máxima potencia para el primer dispositivo 12 de recogida FV. Debido a que cada una de la pluralidad de inversores 330, 332, 334, 336, 338 y 340 puede operar a un punto de potencia máxima distinto. En el punto de alimentación, se extrae una potencia máxima de los dispositivos colectores FV 124, 130, 136, 142, 148 y 154.

En particular, el sistema de generación de energía FV 300 no incluye el inversor 104 del lado de la red. En esta realización, los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 están clasificados para estabilizar y regular la tensión suministrada a la red eléctrica 18 (mostrado en la figura 1). El controlador del sistema 108 proporciona señales de control a cada uno de los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 para proporcionar a la red eléctrica 18 una CA 174 trifásica simétrica durante la operación de estado estable del sistema 300. Además, durante eventos transitorios, los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 facilitan la LVRT, por ejemplo, detectando y compensando las perturbaciones de tensión inyectando potencia reactiva en adelanto o en retraso en la red eléctrica 18, y, por lo tanto, proporcionando una corrección del factor de potencia. Además, los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 pueden reducirse en respuesta a una señal de restricción del controlador del sistema 108. El sistema 300 también puede controlarse para generar un sistema de generación asimétrica no equilibrada con respecto a la inyección de potencia reactiva y real en respuesta

a las condiciones de la red. Por ejemplo, el controlador del sistema 108 puede proporcionar a los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 una señal de referencia del factor de potencia detectando una condición de red, por ejemplo, un fallo de carga. Además, los inversores del lado del colector 330, 332, 334, 336, 338 y 340 pueden responder de manera autónoma a las condiciones de la red, incluidas las condiciones de alta tensión y baja tensión, proporcionando soporte Var, respuesta de caída de frecuencia y regulación automática de la tensión. El controlador del sistema 108 proporciona señales de control a una velocidad de datos baja para optimizar una respuesta del sistema 300 y para minimizar las pérdidas del sistema durante la operación de estado estable. El controlador del sistema 108 también puede servir como sistema de adquisición de datos.

En la realización que se muestra en la Figura 6, la pluralidad de unidades colectoras FV 102 emiten un CA 342 monofásica de baja tensión, que se aplica a uno de tres conductores, primer conductor 160, segundo conductor 162 o tercer conductor 164. Como ejemplo, el primer inversor 330 y el cuarto inversor 336 están acoplados entre el primer conductor 160 y el segundo conductor 162. El segundo inversor 332 y el quinto inversor 338 están acoplados entre el segundo conductor 162 y el tercer conductor 164. El tercer inversor 334 y el sexto inversor 340 están acoplados entre el tercer conductor 164 y primer conductor 160. Aunque ilustrados en una configuración delta, el primer inversor 330, el segundo inversor 332, el tercer inversor 334, el cuarto inversor 336, el quinto inversor 338 y el sexto inversor 340 también pueden acoplarse en una configuración en estrella.

Los conductores 160, 162 y 164 están acoplados al transformador de potencia 106. El transformador de potencia 106 emite CA trifásica de alta tensión 174 para su aplicación a la red eléctrica 18.

La figura 7 es un diagrama de flujo 400 de un procedimiento de ejemplo 410 para controlar el funcionamiento de los sistemas de generación de energía FV 100, 200 y 300 (que se muestran en las Figuras 2-5). Más específicamente, el procedimiento 410 convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para suministrarla a una carga eléctrica, por ejemplo, la red eléctrica 18 (que se muestra en la Figura 1), en la que la energía CC se produce por una pluralidad de fuentes de energía monofásicas de entrada variable, por ejemplo, dispositivos colectores FV 124, 130, 136, 142, 148 y 154. En la realización de ejemplo, el procedimiento 410 incluye proporcionar 420 una pluralidad de unidades colectoras FV fotovoltaicas, cada una de las cuales incluye al menos una célula fotovoltaica y un inversor monofásico del lado del colector, la pluralidad de unidades colectoras FV configuradas para generar una tensión de CC y convertir la tensión de CC en una salida de CA monofásica. Por ejemplo, se proporcionan unidades colectoras FV 102 (que se muestran en la Figura 2) 420 e incluyen dispositivos colectores FV 124, 130, 136, 142, 148 y 154, que generan una tensión de CC e inversores monofásicos del lado del colector 122, 128, 134, 140, 146 y 152, que convierten la tensión de CC a CA monofásica 158 (que se muestra en la Figura 2).

En la realización de ejemplo, el procedimiento 410 también incluye el acoplamiento en comunicación 422 de al menos un controlador del sistema, por ejemplo, el controlador del sistema 108 (que se muestra en la Figura 2), a la pluralidad de unidades colectoras FV 102. El procedimiento 410 también incluye la programación 424 del control del sistema 108 para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV 102. El procedimiento 410 también puede incluir la programación 426 del controlador del sistema 108 para transmitir una señal de restricción a al menos una de la pluralidad de unidades colectoras FV 102 al detectar un fallo de carga.

Las realizaciones descritas anteriormente facilitan la operación eficiente y rentable de un sistema de generación de energía solar. Los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento facilitan la potencia de acondicionamiento generada por una pluralidad de unidades colectoras solares para suministrar a una red de distribución eléctrica. La potencia suministrada a la red eléctrica cumple con las expectativas de conectividad de la red, incluyendo, entre otras, simetría transitoria y de estado estable, control de potencia reactiva, suministro de corriente de falta, configuración de la tasa de rampa y respuesta positiva a eventos en red. Los gastos de capital, las pérdidas de conversión de potencia y las pérdidas de línea se minimizan. Los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento facilitan la simetría de la red de soporte durante fallos temporales o la degradación permanente de un subconjunto de activos de generación de energía. Además, las realizaciones descritas en el presente documento soportan y controlan corrientes de fallo simétricas y asimétricas.

Anteriormente se han descrito con detalle realizaciones de ejemplo de un sistema de generación de energía solar. Los procedimientos y sistemas no están limitados a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que los componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos pueden utilizarse independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritas en el presente documento.

Aunque las características específicas de varias realizaciones de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por 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.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para desvelar la invención, incluido el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica pueda poner en práctica la invención, incluida la fabricación y uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se dan a los expertos en la técnica. Se pretende que estos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales

que no difieren 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 de generación de energía fotovoltaica, FV (100), que comprende:

una pluralidad de unidades colectoras FV (102) que comprenden cada una al menos una célula FV (124) y un inversor monofásico del lado del colector (122), estando la pluralidad de unidades colectoras FV configuradas para el acoplamiento con una carga de corriente alterna (CA) polifásica (18);
 un inversor del lado de la red (104) acoplado entre el inversor monofásico del lado del colector (122) de cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) y la carga (18);
 un controlador del sistema (108) acoplado en comunicación a cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) y configurado para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV (102), en el que el controlador del sistema (108) está configurado además para:

coordinar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) y el inversor del lado de la red (104);
 controlar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) para controlar por separado la potencia real y reactiva aplicada a cada fase de la carga de CA polifásica (18), y
 controlar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) a través de al menos uno de entre un evento de respuesta positiva ante huecos de tensión y un evento de respuesta positiva ante tensión cero.

2. Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el inversor monofásico del lado del colector (122) comprende una unidad de memoria (178) que almacena los parámetros operativos, estando el inversor monofásico del lado del colector configurado para funcionar de acuerdo con el parámetros de operación en respuesta al menos a una de entre las condiciones de la red medidas y una señal del controlador del sistema (108).

3. Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los parámetros operativos comprenden al menos uno de entre una orden de potencia ante un umbral de tensión en red, una orden de retorno después de hueco de tensión y un orden de potencia reactiva.

4. Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en el que el controlador del sistema (108) está configurado para transmitir al menos una de una señal de referencia del factor de potencia a al menos una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102), y una señal de reducción a al menos una de la pluralidad de unidades colectoras FV al detectar un fallo de carga.

5. Un sistema (100) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) está configurada para funcionar a un punto de potencia máxima determinado para la unidad colectoras FV individual y para convertir una tensión de corriente continua (CC) a una salida de corriente alterna (CA) monofásica.

6. Un sistema (100) de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además un transformador (106) configurado para recibir la salida de CA monofásica y convertir la salida de CA monofásica de una pluralidad de inversores monofásicos del lado del colector a una salida de CA polifásica equilibrada.

7. Un sistema de conversión de energía, que comprende:

un sistema de generación de energía FV (100) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la pluralidad de inversores monofásicos del lado del colector (102) están configurados para recibir tensión de corriente continua (CC) de entrada variable y para proporcionar una corriente alterna (CA) polifásica a una carga eléctrica.

8. Un procedimiento para convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para suministrar a una carga eléctrica, en el que la potencia de CC se produce mediante una pluralidad de fuentes de alimentación de entrada variable, comprendiendo dicho procedimiento:

proporcionar una pluralidad de unidades colectoras fotovoltaicas, FV, (102) que incluyen cada una al menos una célula fotovoltaica (124) y un inversor monofásico del lado del colector (122), estando la pluralidad de unidades colectoras fotovoltaicas (102) configuradas para generar una tensión de CC y convertir la tensión de CC a una salida de CA monofásica;
 acoplar un inversor del lado de la red (104) entre el inversor monofásico del lado del colector (122) de cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) y la carga eléctrica (18);
 acoplar en comunicación al menos un controlador del sistema (108) a cada una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102); y
 programar el controlador del sistema (108) para controlar el funcionamiento de la pluralidad de unidades colectoras FV (102), incluida la programación de al menos un controlador del sistema para:

coordinar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) y el inversor del lado de la red (104)
 controlar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) para controlar por separado la potencia real y reactiva aplicada a cada fase de la carga de CA polifásica (18), y

controlar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) a través de al menos uno de un evento de respuesta positiva a huecos de tensión (LVRT) y un evento de respuesta positiva a tensión cero (ZVRT).

5 9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además programar el al menos un controlador del sistema para:
transmitir al menos una de una señal de referencia del factor de potencia y una señal de restricción a al menos una de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) al detectar un fallo de carga.

10 10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 o la reivindicación 9, que comprende además programar el al menos un controlador del sistema para:
coordinar la operación de la pluralidad de unidades colectoras FV (102) para minimizar las pérdidas del sistema internas en un sistema de generación de energía FV (100).

11. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además almacenar parámetros operativos dentro del inversor monofásico del lado del colector (122) que controla la operación del inversor monofásico del lado del colector (122) al detectar un evento de red.

15

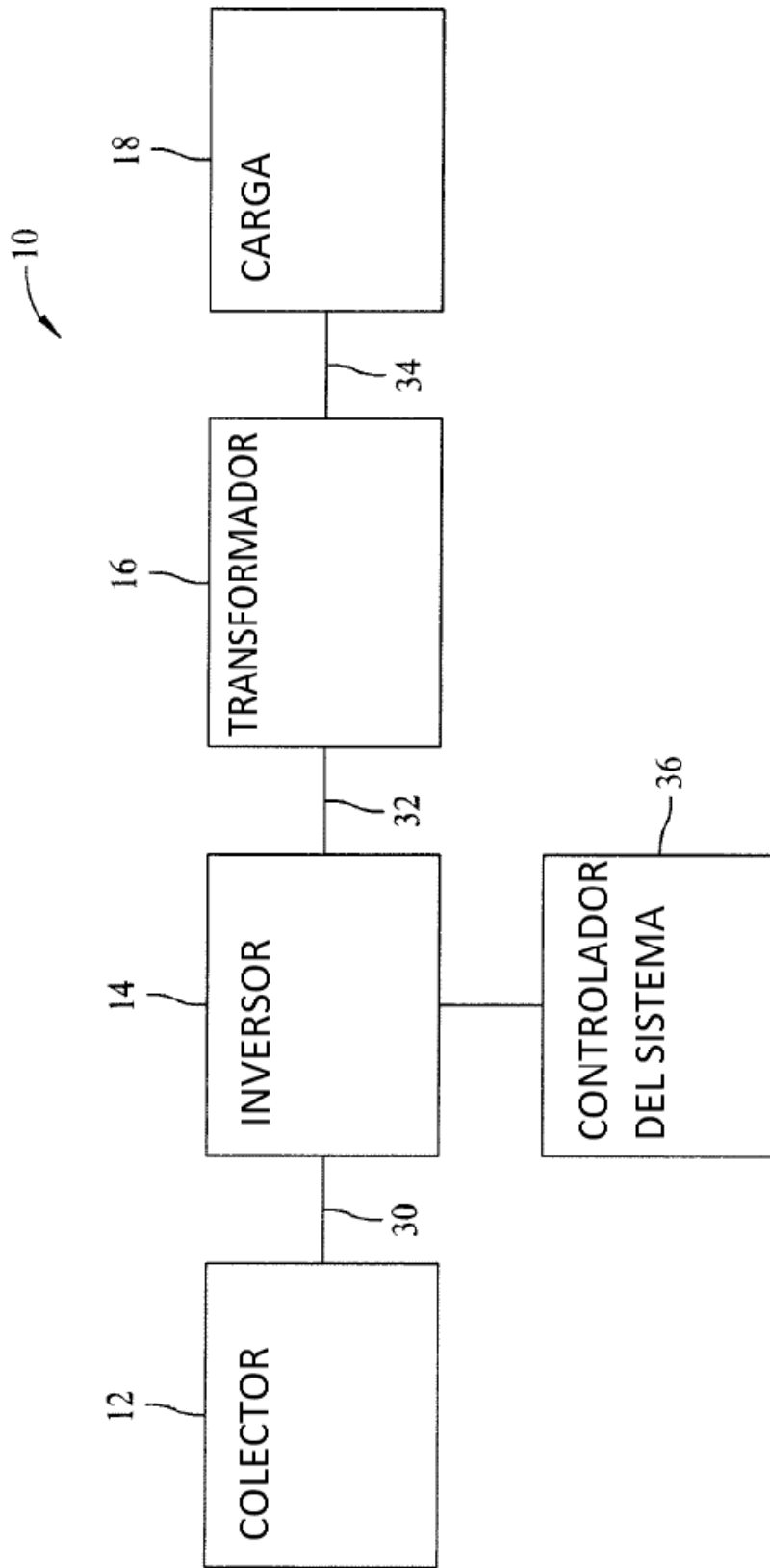


Figura 1

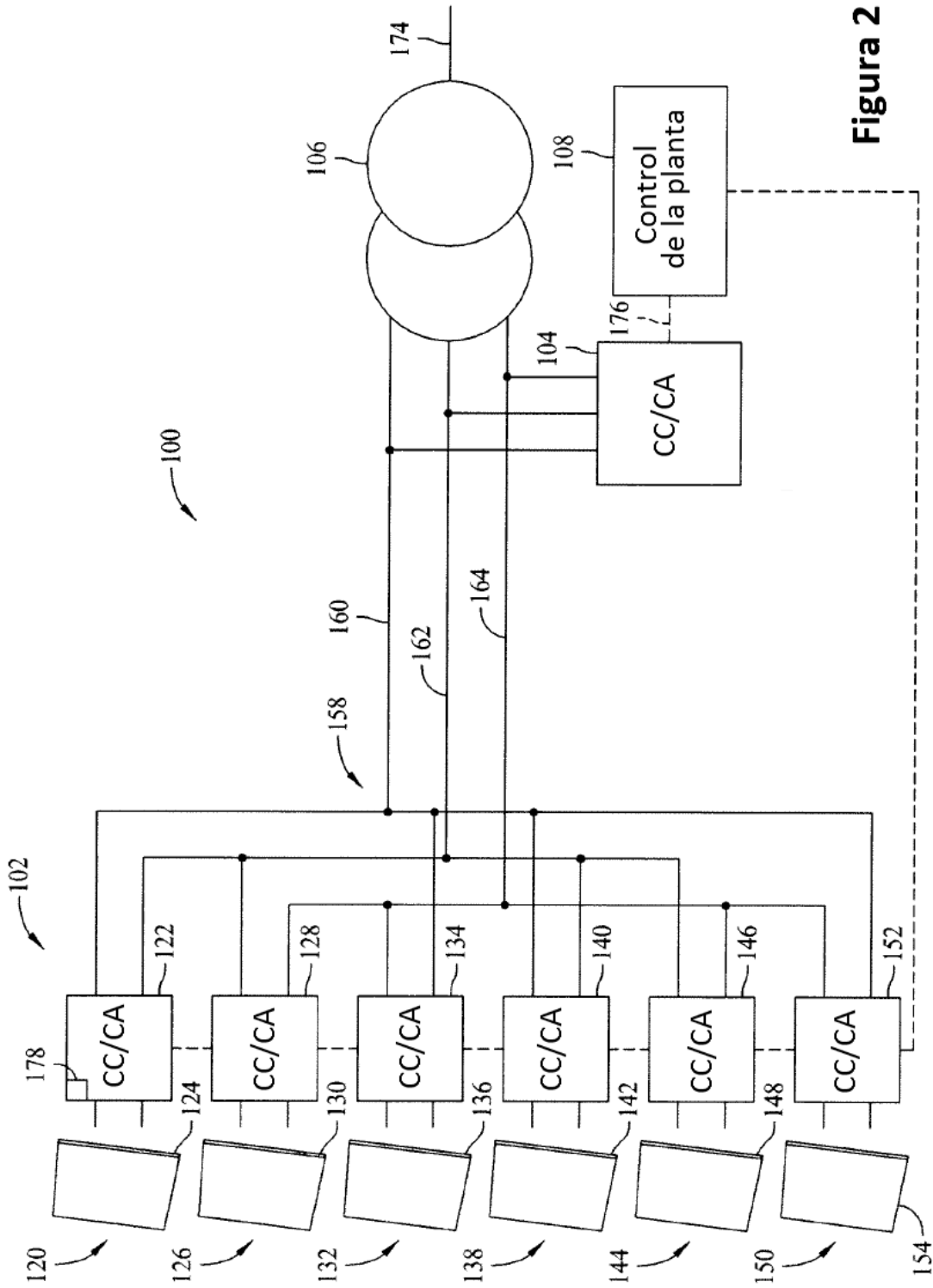


Figura 2

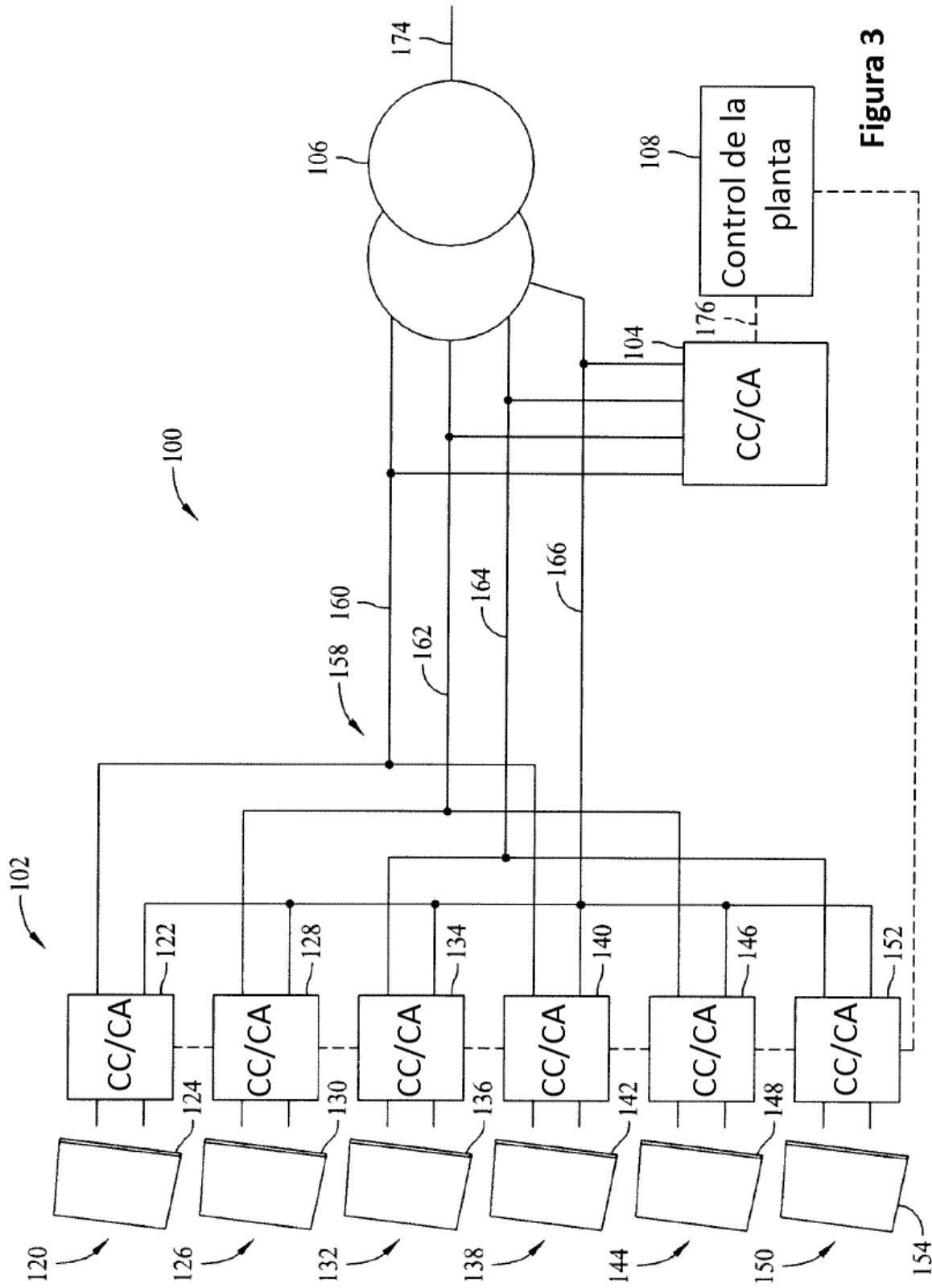


Figura 3

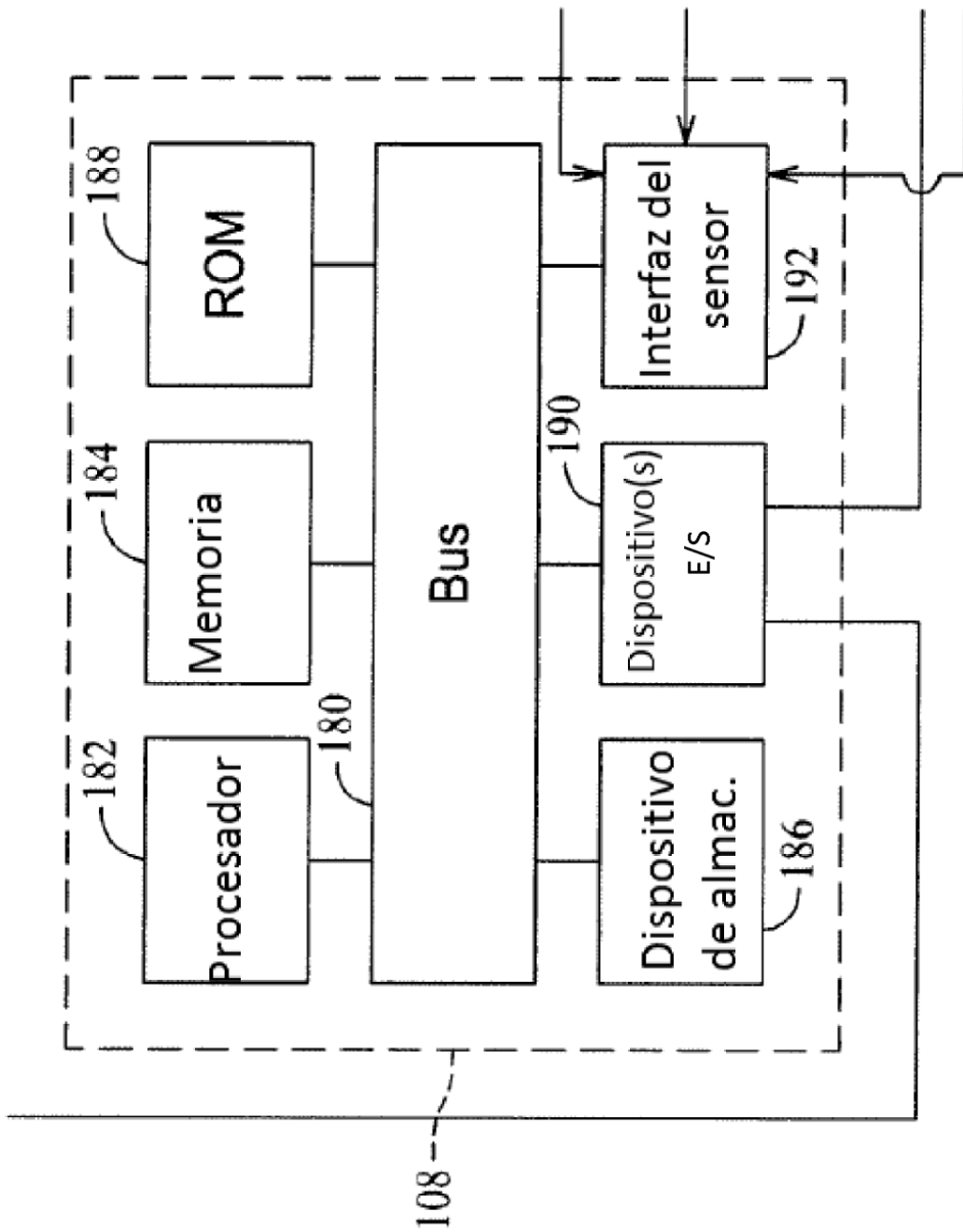
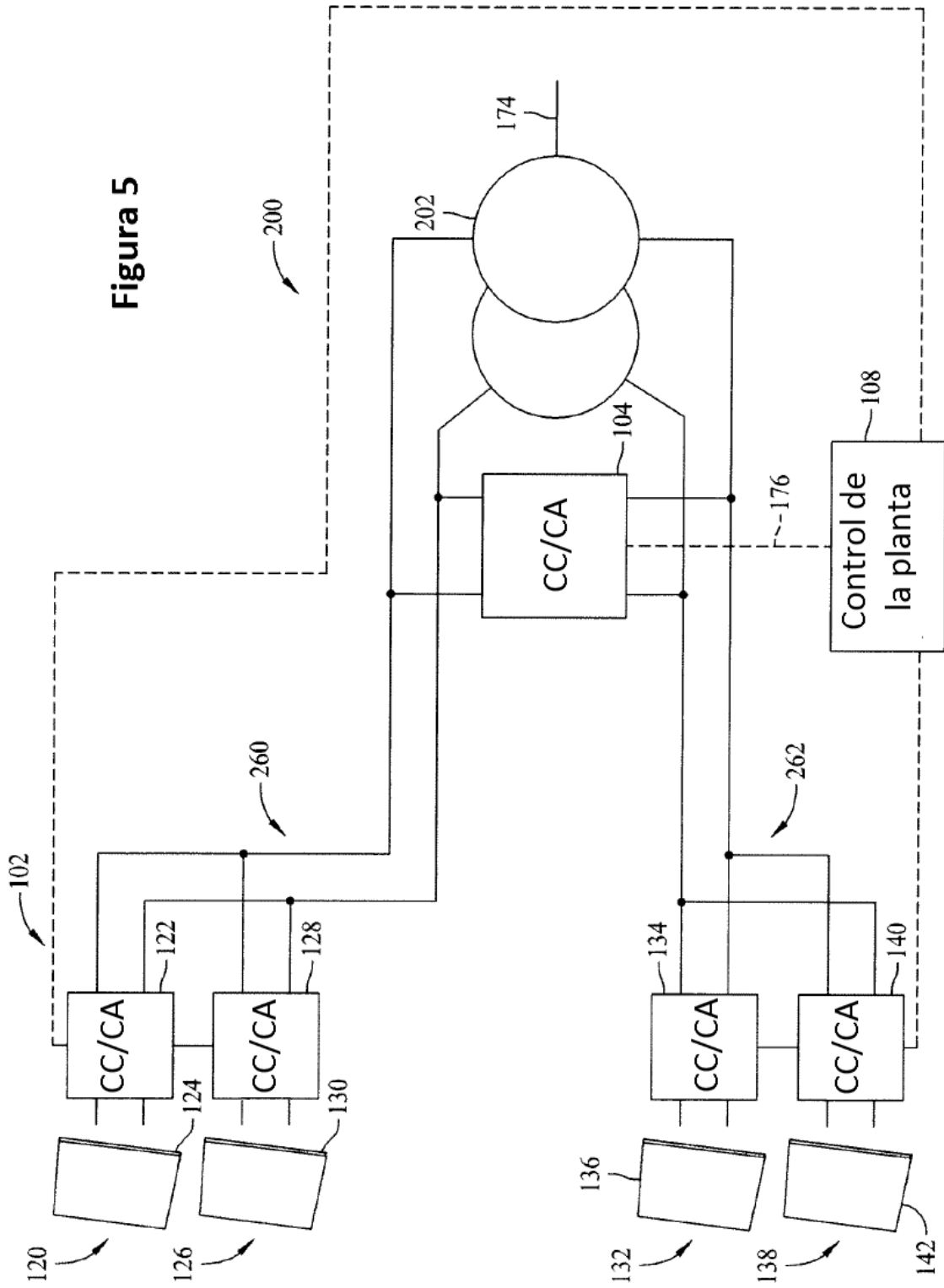


Figura 4

Figura 5



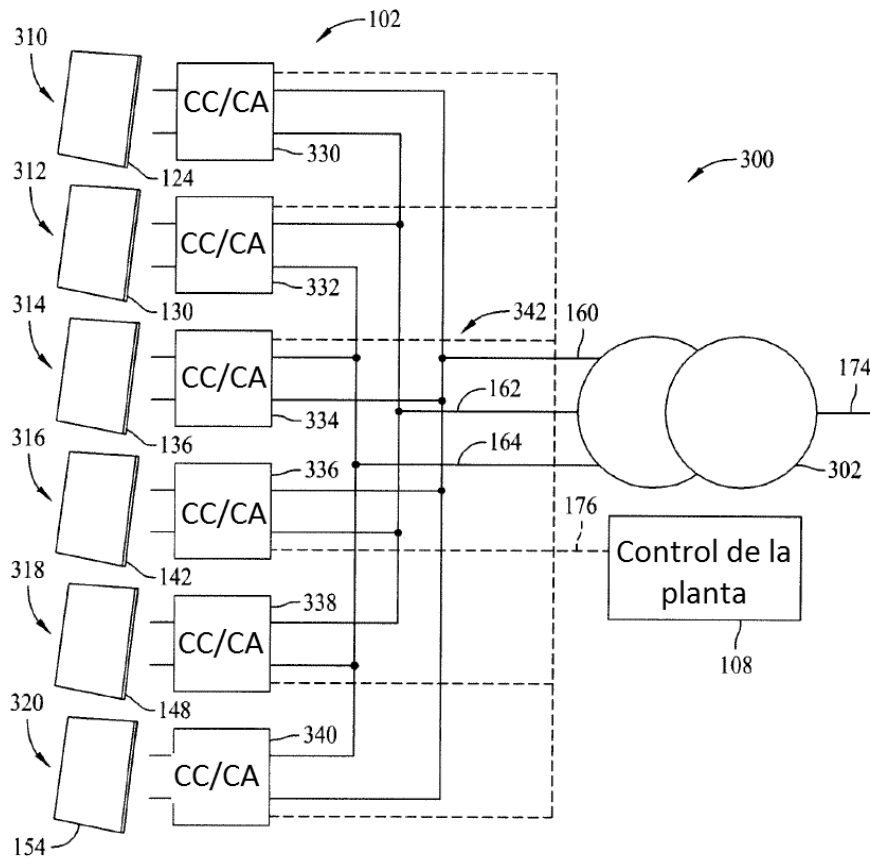


Figura 6

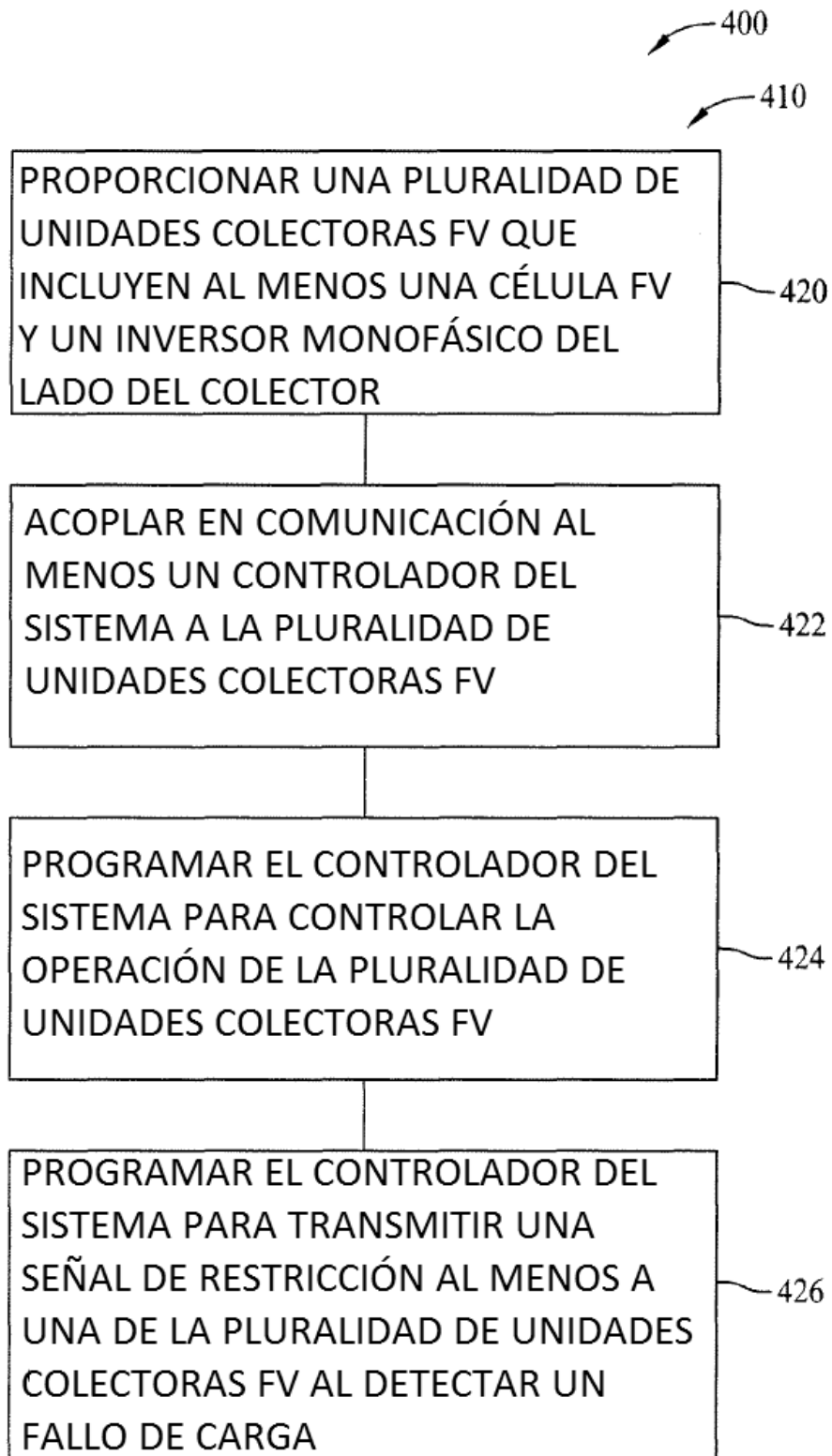


Figura 7