

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 722 928**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)

**G05F 1/67** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2017 E 17172860 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 3249492**

54 Título: **Seguimiento del punto de máxima potencia de un generador fotovoltaico basado en la investigación de un intervalo objetivo**

30 Prioridad:

**25.05.2016 IT UA20163806**

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

**20.08.2019**

73 Titular/es:

**RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE  
S.P.A. (100.0%)  
Via Rubattino, 54  
20134 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**MINUTO, ALESSANDRO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 722 928 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

Seguimiento del punto de máxima potencia de un generador fotovoltaico basado en la investigación de un intervalo objetivo

**Campo técnico**

- 5 La presente divulgación se refiere al campo de los generadores fotovoltaicos. Más específicamente, esta divulgación se refiere al control de los generadores fotovoltaicos.

**Contexto tecnológico**

- 10 Los antecedentes de la presente divulgación se presentan a continuación con la discusión de técnicas relacionadas con su contexto. Sin embargo, incluso cuando esta discusión se refiere a documentos, actos, artefactos y similares, no sugiere ni representa que las técnicas discutidas sean parte de la técnica anterior o sean de conocimiento general común en el campo pertinente para la presente divulgación.

Los generadores fotovoltaicos se utilizan comúnmente para convertir la energía luminosa en energía eléctrica (también conocidos como generadores solares para uso con luz solar); Esto permite generar energía de forma ecológica y con menor impacto ambiental.

- 15 Normalmente, cada generador fotovoltaico comprende una pluralidad de módulos fotovoltaicos acoplados entre sí (por ejemplo, receptores conectados en serie). Sin embargo, los receptores pueden estar sujetos a una discrepancia de corriente de naturaleza eléctrica y/u óptica; en particular, esto se debe principalmente a fenómenos de sombreado parcial (por ejemplo, debido a las nubes, los obstáculos ambientales, como los árboles y los edificios, y la suciedad típica de los generadores fotovoltaicos tradicionales, el opacificado de lentes, los errores de un sistema de seguimiento solar son típicos de la concentración de generadores fotovoltaicos). Como resultado, los receptores pueden entregar diferentes valores máximos de corriente. Con referencia a un punto de trabajo genérico del generador fotovoltaico, en presencia de discrepancia, los receptores que no son capaces de suministrar la corriente suministrada por el generador fotovoltaico están cortocircuitados por los diodos de derivación correspondientes que los protegen contra la polarización inversa.

- 20 Las discrepancias de los receptores provocan las etapas (corriente) correspondientes en una característica de voltaje-corriente del generador fotovoltaico, con un máximo (potencia) o pico, en una característica de voltaje – potencia del generador fotovoltaico correspondiente a cada uno de ellos. Para optimizar la energía suministrada por el generador fotovoltaico, debe funcionar en un punto de trabajo (definido por una corriente de trabajo y una voltaje de trabajo suministrada por él) correspondiente al pico de potencia absoluto (global) de la característica de voltaje – potencia (punto de máxima potencia). Sin embargo, la característica de voltaje - potencia del generador fotovoltaico varía continuamente con las discrepancias de sus receptores (incluso muy rápidamente en el caso de los generadores fotovoltaicos del tipo de concentración).

- 25 Por lo tanto, la mayoría de los generadores fotovoltaicos se controlan con una técnica de Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), en el que el punto de trabajo del generador fotovoltaico se ajusta continuamente para mantenerlo en correspondencia. Por ejemplo, el documento US-A-5869956 divulga la realización de un control MPPT en circunstancias normales para extraer la máxima potencia de una celda solar. Las técnicas de MPPT se basan en general en un procedimiento conocido como Perturbación y Observación (P&O). Para este propósito, el punto de trabajo se desplaza ligeramente (hacia la derecha o hacia la izquierda) y se mide la potencia correspondiente suministrada por el generador fotovoltaico; si la potencia ha aumentado, el desplazamiento del punto de trabajo continúa en la misma dirección, mientras que de lo contrario el desplazamiento del punto de trabajo cambia de dirección. El procedimiento de perturbación y observación es muy simple de implementar.

- 30 Sin embargo, el procedimiento de perturbación y observación hace que el generador fotovoltaico funcione en correspondencia con el primer pico de la característica de voltaje – potencia que se encuentra y que, por lo tanto, puede que no sea su pico de potencia absoluto (es decir, el punto de potencia máxima real). Para evitar que el generador fotovoltaico funcione en correspondencia con un pico de potencia relativa de la característica de voltaje - potencia, por lo tanto, es necesario buscar el punto de máxima potencia para inicializar el procedimiento de perturbación y observación; la búsqueda del punto de máxima potencia requiere, en primer lugar, la exploración de toda la característica de voltaje - potencia. Las técnicas más sofisticadas permiten encontrar el punto de máxima potencia con la exploración de una parte de la característica de voltaje - potencia (que, sin embargo, sigue siendo muy grande) o con un proceso iterativo (que, sin embargo, implica un número muy grande de iteraciones). Además, la búsqueda del punto de máxima potencia debe repetirse siempre que las condiciones ambientales experimenten cambios sustanciales (por ejemplo, un oscurecimiento momentáneo del cielo). Esto implica pérdidas considerables de energía, ya que durante la búsqueda del punto de máxima potencia el generador fotovoltaico opera lejos de él.

- 35 El procedimiento de perturbación y observación también es bastante ineficiente. De hecho, si los desplazamientos del punto de trabajo tienen una frecuencia baja y/o un paso alto, la convergencia hacia el punto de máxima potencia es lenta; a la inversa, si los desplazamientos del punto de trabajo tienen una frecuencia alta y/o un paso bajo, la convergencia hacia el punto de máxima potencia no es muy precisa. También en este caso, las diferencias entre el

5 punto de trabajo y el punto de máxima potencia provocan pérdidas de energía correspondientes (especialmente en el caso de generadores fotovoltaicos del tipo de concentración cuya característica de voltaje – potencia puede variar muy rápidamente). Estos efectos negativos son particularmente evidentes en el caso de errores del procedimiento de perturbación y observación; por ejemplo, esto puede suceder en presencia de variaciones de la irradiancia solar que modifican la potencia suministrada por el generador fotovoltaico, de modo que el procedimiento de perturbación y observación podría detectar un aumento o disminución del mismo que no corresponde a la pendiente real de la característica de voltaje - potencia.

### Sumario

10 Un sumario simplificado de la presente divulgación se presenta aquí con el fin de proporcionar una comprensión básica de la misma; sin embargo, el único propósito de este sumario es presentar algunos conceptos de la divulgación en forma simplificada como preludeo a su siguiente descripción más detallada, y no debe interpretarse como un

En términos generales, la presente divulgación se basa en la idea de determinar un intervalo en el que se rastrea el punto de máxima potencia.

15 En particular, un aspecto proporciona un procedimiento para controlar un generador fotovoltaico, en el que se busca un intervalo objetivo de una característica operativa correspondiente entre un intervalo de inicio y cada intervalo que sigue al intervalo de inicio de acuerdo con una comparación con una discrepancia crítica relativa correspondiente del generador fotovoltaico (definido como un aumento relativo de la discrepancia de cada intervalo que hace que un pico de potencia del intervalo sea igual al pico de potencia de un intervalo que sigue a ese intervalo a la distancia desde el mismo igual a un orden de la discrepancia crítica relativa , y luego el pico de potencia es rastreado en el intervalo objetivo.

Un aspecto adicional proporciona un programa de software para implementar el procedimiento; Un aspecto adicional proporciona un producto de programa de software correspondiente.

Un aspecto adicional proporciona un sistema de control correspondiente.

25 Un aspecto adicional proporciona un dispositivo de interfaz que comprende este sistema de control.

Un aspecto adicional proporciona un sistema fotovoltaico que comprende este sistema de control; un aspecto adicional proporciona un sistema fotovoltaico que comprende este dispositivo de interfaz.

30 Más específicamente, uno o más aspectos de la presente divulgación se exponen en las reivindicaciones independientes y las características ventajosas de los mismos se exponen en las reivindicaciones dependientes, con la redacción de todas las reivindicaciones que se incorporan aquí como referencia (con cualquier característica ventajosa provista con referencia a cualquier aspecto específico que se aplique mutatis mutandis a cualquier otro aspecto).

### Breve descripción de los dibujos

35 La solución de la presente divulgación, así como las características adicionales y las ventajas de la misma, se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción detallada de la misma, dada puramente a modo de indicación no restrictiva, que se leerá junto con los dibujos adjuntos. (en donde, por simplicidad, los elementos correspondientes se denotan con referencias iguales o similares y su explicación no se repite, y el nombre de cada entidad generalmente se usa para denotar tanto su tipo como sus atributos, como el valor, el contenido y la representación). A este respecto, se pretende expresamente que las figuras no sean necesarias dibujadas a escala (con algunos detalles que pueden ser exagerados y/o simplificados) y que, a menos que se indique lo contrario, simplemente se usan para ilustrar las estructuras y procedimientos descritos aquí conceptualmente. Particularmente:

La FIG. 1 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema fotovoltaico en el que se puede usar la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación,

45 Las FIGS. 2A y 2H muestran diagramas combinados relacionados con el funcionamiento de un generador fotovoltaico en el que se puede aplicar una solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación,

La FIG. 3 muestra un diagrama de bloques esquemático de un bloque de medición de acuerdo con una realización de la presente divulgación,

50 La FIG. 4 muestra los componentes principales del software que pueden usarse para implementar la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación,

La FIG. 5 muestra un diagrama de estado que describe los principios generales de la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación, y

Las FIG. 6A-FIG. 6C, FIG. 7A-FIG. 7B muestran diagramas de actividad que describen el flujo de actividades relacionadas con una implementación de la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

### Descripción detallada

5 Con referencia en particular a la figura 1, se muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema 100 fotovoltaico en el que se puede usar la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

El sistema 100 fotovoltaico proporciona energía eléctrica (es decir, corriente y voltaje) del tipo alterno, por ejemplo, para suministrar una red de distribución o un acumulador (no mostrado en la figura).

10 El sistema 100 fotovoltaico comprende un generador 105 fotovoltaico, que convierte la energía luminosa (por ejemplo, proporcionada por la luz solar) en energía eléctrica del tipo directo.

Típicamente, el generador 105 fotovoltaico es una cadena que comprende una pluralidad de unidades conectadas en serie (con cada una de ellas que puede comprender, a su vez, más subunidades conectadas en paralelo). Cada unidad está formada por una pluralidad de receptores 110 conectados en serie (por ejemplo, 12-48); cada receptor 110 comprende un bloque de celdas fotovoltaicas conectadas en serie o en paralelo entre sí, indicadas en su totalidad por la referencia 115, a su vez conectadas en antiparalelo a un diodo 120 de derivación. Las celdas 115 fotovoltaicas absorben la luz solar y generan energía eléctrica directa por efecto fotovoltaico; por ejemplo, cada celda 115 fotovoltaica tiene una estructura basada en una única unión (PN) o en múltiples uniones (que comprenden una pluralidad de uniones de diferentes materiales semiconductores) en tecnología tradicional o de concentración (CPV). El diodo 120 de derivación en su lugar sirve para proteger las celdas 115 fotovoltaicas de una posible polarización inversa.

En caso de discrepancia (eléctrico/óptico) entre los receptores 110 (por ejemplo, debido a los fenómenos de sombreado parcial de las celdas 115 fotovoltaicas), los valores máximos de corriente continua que cada receptor 110 puede suministrar pueden ser diferentes. Con referencia a un punto de trabajo genérico del generador 105 fotovoltaico, en condición de discrepancia, los receptores 110 que son capaces de suministrar la corriente continua con un valor igual o mayor que el proporcionado por el generador 105 fotovoltaico, en ese punto de trabajo, tienen al menos parte de sus celdas 115 fotovoltaicas polarizadas hacia adelante (y, por lo tanto, están activas contribuyendo a el voltaje directa suministrada por el generador 105 fotovoltaico), mientras que los otros receptores 110 tienen sus diodos de derivación 120 desviados hacia delante para derivar la corriente directa para proteger los mismos (y, por lo tanto, están inactivos y no contribuyen a el voltaje directa suministrada por el generador 105 fotovoltaico, aparte de una caída de tensión en los diodos de derivación 120).

El sistema 100 fotovoltaico comprende además un dispositivo de interfaz para transferir la potencia máxima del generador 105 fotovoltaico a una carga del mismo definida por la red eléctrica o el acumulador (por ejemplo, un convertidor DC-AC o un convertidor DC-DC, respectivamente). Particularmente, la figura muestra un convertidor de DC-AC, por ejemplo, implementado por un inversor 125 que convierte la energía eléctrica directa (entrada por el generador 105 fotovoltaico) en energía eléctrica alterna (para ser emitida). En particular, el inversor 125 es del tipo de fuente de voltaje (VSI), en donde está configurado para que el generador 105 fotovoltaico sea visto como un generador de voltaje directo (real) y luego se controle la corriente; Las consideraciones duales se aplican en caso de que el inversor 125 sea del tipo de fuente de corriente (CIS).

En una forma extremadamente simplificada, el inversor 125 comprende los siguientes bloques funcionales. En particular, un bloque 130 de acumulación (enlace DC) acumula la energía eléctrica directa suministrada por el generador 105 fotovoltaico (en una estructura capacitiva representada esquemáticamente con un condensador), para permitir que el inversor 120 funcione en condiciones de voltaje directo lo suficientemente estables. Con respecto a su dinámica. Un circuito 135 de conmutación convierte el voltaje directo acumulado en el bloque 130 de acumulación en voltaje de onda cuadrada (correspondiente a el voltaje alterna deseada), a través de la apertura/cierre de los componentes de potencia (por ejemplo, en una configuración de puente). Un filtro (bloque) 140 filtra el voltaje de onda cuadrada suministrada por el bloque 135 de conmutación para obtener el voltaje alterna que se emite. Un controlador 145 controla el circuito 135 de conmutación para proporcionar la corriente/voltaje alterna deseada (por ejemplo, con la técnica de Modulación de ancho de pulso, PWM). En lo que se refiere a la presente descripción, el controlador 145 implementa una técnica de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), en la que controla el generador 105 fotovoltaico (variando una carga del mismo definida por el inversor 125) para operar en correspondencia con su punto de máxima potencia. El controlador 145 mide la corriente/voltaje que recibe el generador 105 fotovoltaico (para rastrear el punto de máxima potencia) y la corriente/voltaje alterna que recibe el inversor 105 (para su control de realimentación). En general, el controlador 145 cuenta con uno o más microprocesadores, una memoria de trabajo volátil (RAM), una memoria de masa no volátil (por ejemplo, una E<sup>2</sup>PROM) para almacenar programas y datos, y varias unidades de entrada y salida. (por ejemplo, un puerto USB para leer/escribir dispositivos de memoria extraíbles, como una tarjeta de memoria, un transceptor del tipo de Wi-Fi, una pantalla táctil).

En la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación, un circuito 150 de medición está interpuesto entre el generador 105 fotovoltaico y el controlador 145. El circuito 150 de medición se utiliza para medir, además de la corriente/voltaje directa recibida del generador 105 fotovoltaico durante su funcionamiento normal, la corriente/voltaje directa recibida del generador 105 fotovoltaico en una o más de sus condiciones límite (por ejemplo, una corriente de cortocircuito y un voltaje de circuito abierto). Además, el controlador 145 usa uno o más sensores 155 ambientales para medir los parámetros ambientales correspondientes en los que opera el generador 105 fotovoltaico (por ejemplo, radiación solar, temperatura, velocidad del viento).

Con referencia ahora a la FIG. 2A-FIG. 2H, se muestran diagramas combinados relacionados con el funcionamiento de un generador fotovoltaico al cual se puede aplicar la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Estos diagramas combinados trazan los valores de la corriente continua (I) y la potencia directa (P) suministrada por el generador fotovoltaico en el eje de ordenadas (en A y en W, respectivamente) en función de los valores del voltaje directo (V) suministrado por el generador fotovoltaico en el eje de abscisas (en V).

En particular, el diagrama combinado de la Fig. 2A representa una característica de voltaje-corriente (salida) del generador fotovoltaico (es decir, la corriente es una función del voltaje V) con una curva I-V 205a y una característica de voltaje-voltaje (salida) del generador fotovoltaico (es decir, la potencia P como una función del voltaje V) con una curva P-V 210a.

En general, el generador fotovoltaico comprende N receptores que tienen discrepancias  $M_k$  (siendo  $k=1 \dots N$ ), que se clasifican según el índice k (en orden creciente de su valor). En particular, los receptores que tienen el valor máximo más alto de la corriente que son capaces de suministrar (corriente  $I_{m_k}$  que se puede entregar) se consideran sin discrepancia; los receptores que tienen la corriente suministrable  $I_{m_k}$  menor que la de uno de los receptores sin discrepancia se consideran, en cambio, con discrepancias, de valor y orden que aumentan con la reducción de su corriente suministrable  $I_{m_k}$  con respecto a la de los receptores sin discrepancia (por ejemplo, como un porcentaje con respecto al último) hasta los receptores con máxima discrepancia que tengan la corriente de suministro más baja  $I_{m_k}$ .

Considerando inicialmente la curva I-V 205a, a partir de una condición de cortocircuito en la que el generador fotovoltaico suministra un valor máximo correspondiente de la corriente (corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ ), uno o más receptores (sin discrepancia) que son capaces de suministrar dicha corriente (es decir, cuya corriente de entrega es mayor o igual a ella) están activos mientras que los otros receptores (con discrepancia) están inactivos. Los receptores activos se comportan como generadores de corriente en un cierto intervalo de voltaje (en donde la curva I-V 205a tiene una parte correspondiente con corriente o meseta sustancialmente constante), más allá del cual la corriente suministrada por los receptores activos disminuye considerablemente (en donde la curva I-V 205a tiene una parte correspondiente con una tendencia exponencial aproximadamente inversa, o paso) hasta que se activen uno o más receptores con la discrepancia inmediatamente superior (para contribuir a que el voltaje limite la corriente I). A medida que aumenta el voltaje V, adicionalmente, hay un comportamiento similar con la activación en la sucesión de receptores que tienen discrepancias cada vez mayores, hasta que (con todos los receptores activos) se alcanza una condición de circuito abierto en donde el generador fotovoltaico suministra un valor máximo correspondiente del voltaje (voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ ).

Por lo tanto, la curva I-V 205a se compone de la unión de secciones homogéneas en intervalos consecutivos de voltaje V (cada uno de ellos comprende una meseta correspondiente seguida de un paso de la corriente I), en lo sucesivo, denominados como intervalos canónicos  $CR_k$  de orden k, en donde cada intervalo canónico  $CR_k$  se define por el intervalo de voltaje V en el que los receptores k (con una discrepancia inferior o igual a un valor que define una discrepancia de los intervalos canónicos  $CR_k$ , indicado con  $M_k$ ) están activos, y luego los N-k receptores (con una discrepancia mayor que la discrepancia  $M_k$ ) están inactivos. Los intervalos canónicos  $CR_k$  (y luego las etapas de la curva I-V) son iguales en número a los diferentes valores de las discrepancias  $M_k$ , comprendido el nulo (seis en el ejemplo en cuestión); por lo tanto, el número de intervalos canónicos  $CR_k$  es como máximo igual al de los receptores, es decir, igual a N cuando todos los receptores tienen discrepancias diferentes o menores que N cuando dos o más receptores tienen discrepancias iguales. Como se describe a continuación, para cada punto de trabajo del generador fotovoltaico, definido por el valor establecido de la corriente I (corriente de trabajo  $I_w$ ) y el valor correspondiente del voltaje V (voltaje de trabajo  $V_w$ ) de acuerdo con su curva I-V, es posible determinar el intervalo canónico  $CR_k$  al que pertenece el punto de trabajo  $I_w/V_w$  (intervalo de trabajo  $CR_w$ ) a través de un modelo matemático del generador fotovoltaico (incluso sin conocer su curva I-V).

Al pasar la curva P-V 210a, en correspondencia con las mesetas de la curva I-V 205a, la potencia P aumenta en forma sustancialmente lineal con el voltaje V, y en correspondencia con las etapas de la curva I-V 205a la potencia P disminuye en forma exponencial aproximadamente inversa. En cada  $CR_k$  de intervalo canónico, la curva P-V 210a tiene, por lo tanto, un pico de potencia (máximo)  $P_{m_k}$  en correspondiente a una rodilla del mismo, entre la meseta y el escalón; uno (o más) de los picos de potencia es absoluto o global (punto de máxima potencia  $P_{máx.}$ ), mientras que los otros picos de potencia  $P_{m_k}$  son relativos o locales. Por lo tanto, el número de picos de potencia  $P_{m_k}$  así como máximo igual al de los receptores, es decir, igual a N cuando todos los receptores tienen discrepancias diferentes o inferiores a N cuando dos o más receptores tienen discrepancias iguales. Cada pico de potencia  $P_{m_k}$

(en el intervalo canónico  $CR_k$  con discrepancia  $M_k$ ) es independiente de las discrepancias  $M_{succ}$  (siendo  $k+1 \leq succ \leq N$ ), más alto que la falta de discrepancia  $M_k$ , de cualquier intervalo canónico  $CR_{succ}$  de orden superior (intervalos siguientes, a la derecha); de hecho, en el intervalo canónico  $CR_k$ , todos los receptores de los siguientes intervalos  $CR_{succ}$ , siempre son inactivos, de modo que no contribuyan de ninguna manera a la energía  $P$  suministrada por el generador fotovoltaico.

El caso se considera ahora de un solo intervalo canónico.  $CR_N$  con discrepancia (último intervalo), además de un intervalo canónico  $CR_{N-1}$  de un orden inferior (intervalo anterior, a la izquierda) sin discrepancia ( $M_{N-1}=0$ ). En esta condición, el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  en el intervalo anterior  $CR_{N-1}$  es independiente de la discrepancia  $M_N$  del último intervalo  $CR_N$  (ya que lo sigue), por lo que esta discrepancia  $M_N$  varía, solo varía el pico de potencia correspondiente  $P_{m_N}$  varía (mientras que el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  permanece sin cambios).

Partiendo de una condición en la que la discrepancia  $M_N$  es muy baja, el pico de potencia  $P_{m_N}$  es más alto que el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  (ya que en el último intervalo  $CR_N$ , los receptores con discrepancia en  $M_N$  que se activan aumentan el voltaje  $V$  sin limitar sustancialmente la corriente  $I$ ); por ejemplo, la FIG. 2B muestra una curva I-V 205b y una curva P-V 210b correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-1}=0$  y  $M_N=15\%$ . A medida que la discrepancia  $M_N$  aumenta, la potencia máxima de  $P_{m_N}$  disminuye (ya que los receptores con discrepancia  $M_N$  limitan la corriente más y más), hasta que el pico de potencia  $P_{m_N}$  se iguala a el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$ ; las simulaciones han demostrado que la discrepancia  $M_N$  hace que el pico de potencia  $P_{m_N}$  no sea igual al pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$ ; las discrepancias de los receptores del generador fotovoltaico, es decir, es un valor característico del mismo que en lo sucesivo se denomina discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ . Por ejemplo, la FIG. 2C muestra una curva I-V 205c y una curva P-V 210c correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-1}=0$  y  $M_N=25\%$ , este último que define la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}=25\%$ . A medida que aumenta la discrepancia  $M_N$ , el pico de potencia  $P_{m_N}$  disminuye más, volviéndose más bajo que el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$ ; por ejemplo, la FIG. 2D muestra una curva I-V 205d y una curva P-V 210d correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-1}=0$  y  $M_N=35\%$ .

Por lo tanto, si la discrepancia  $M_N$  es menor que (igual que) la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , el pico de potencia  $P_{m_N}$  es mayor que (igual a) la potencia pico  $P_{m_{N-1}}$ , mientras que si la discrepancia  $M_N$  es mayor que (igual a) la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$  la potencia pico  $P_{m_N}$  es mayor que (igual a) la potencia pico  $P_{m_{N-1}}$ .

El caso más general ahora se considera del último intervalo canónico  $CR_N$  precedido por dos o más intervalos precedentes  $CR_{prec}$  (con  $1 \leq prec < N$ ), el primero de ellos sin discrepancia y los otros con discrepancia. En esta condición, los receptores adicionales con discrepancia que preceden a los receptores con discrepancia  $M_N$  tienen el efecto de reducir especialmente los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  de los intervalos de precedentes  $CR_{prec}$  (ya que en ellos los receptores con discrepancia adicionales reducen el voltaje  $V$ , cuando están inactivos o la corriente/cuando están activos, mientras que, en el último intervalo canónico,  $CR_N$ , la corriente, ya no se limita por los receptores con la discrepancia  $M_N$ ).

Por lo tanto, si la discrepancia  $M_N$  es menor o igual que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , el pico de potencia de  $P_{m_N}$  es aún mayor que los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$ . Si, por el contrario, la discrepancia  $M_N$  es mayor que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , ya no es posible establecer con certeza la relación entre el pico de potencia  $P_{m_N}$  y los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  (dado que uno o más de los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  pueden ser más bajos que el pico de potencia  $P_{m_N}$ ). Por ejemplo, la FIG. 2E muestra una curva I-V 205e y una curva P-V 210e correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-3}=0$ ,  $M_{N-2}=5\%$ ,  $M_{N-1}=8\%$ ,  $M_N=35\%$  y discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}=25\%$ ; a pesar de que la discrepancia  $M_N$  es mayor que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , los picos de potencia  $P_{m_{N-3}}$  -  $P_{m_{N-1}}$  son, sin embargo, más bajos que los picos de potencia  $P_{m_N}$ .

Considerando ahora cualquier otro intervalo canónico  $CR_k$  (siendo  $1 < k < N$ ), las simulaciones han demostrado que en este caso también se obtiene el mismo resultado si las caídas de voltaje en los diodos de derivación no se tienen en cuenta; es decir, a partir de una condición en la que la discrepancia  $M_k$  es muy baja, la discrepancia  $M_k$  que reduce el pico de potencia  $P_{m_k}$  lo hace igual a los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  de un intervalo  $CR_{prec}$  precedente sustancialmente igual a la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$  (como se definió anteriormente en relación con el último intervalo  $CR_N$ ). Teniendo en cuenta que las caídas de voltaje en los diodos de derivación también reducen el pico de potencia  $P_{m_k}$  que se mueve hacia la izquierda; por lo tanto, la discrepancia  $M_k$  que reduce el pico de potencia  $P_{m_k}$  para hacerla igual al pico de potencia  $P_{m_{prec}}$  es un intervalo precedente  $CR_{prec}$  es sustancialmente más alto que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ . Por lo tanto, a fortiori, si la discrepancia  $M_k$  es menor o igual que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , el pico de potencia  $P_{m_k}$  es mayor que los picos de potencia de  $P_{m_{prec}}$ .

En vista de lo anterior, si la discrepancia  $M_k$  de un intervalo canónico genérico  $CR_k$  es menor o igual que la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ , no hay picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  que exista más alto que el pico de potencia  $P_{m_k}$  de tal intervalo canónico  $CR_k$  en cualquiera de los intervalos anteriores de  $CR_{prec}$  (a la izquierda).

Dos intervalos canónicos consecutivos ahora se consideran de orden genérico  $CR_k$  y  $CR_{k+1}$  (con  $1 \leq k < N$ ) con discrepancias  $M_k$  y  $M_{k+1}$ , respectivamente. Partiendo de una condición en la que la discrepancia  $M_k$  es muy baja, el pico de potencia  $P_{m_k}$  del intervalo canónico  $CR_k$  es mayor que el pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$  del intervalo canónico  $CR_{k+1}$  (dado que mientras que en el intervalo canónico de  $CR_{k+1}$  los receptores con discrepancia  $M_{k+1}$  sustancialmente limitan la corriente  $I$ , eso no sucede en este caso, en el intervalo canónico  $CR_k$ , por los receptores

con la discrepancia  $M_k$ ). Por ejemplo, la FIG.2F muestra una curva I-V 205f y una curva P-V 210f correspondiente al caso más simple con solo dos intervalos canónicos  $CR_{N-1}$  y  $CR_N$  con discrepancia  $M_{N-1}=20\%$  y discrepancia (máxima)  $M_N=60\%$ , respectivamente, además de un intervalo  $CR_{N-2}$  sin discrepancia  $M_{N-2}=0$ . A medida que la discrepancia  $M_k$  aumenta especialmente el pico de potencia disminuye  $P_{m_k}$  (ya que en el intervalo canónico  $CR_k$ , los receptores con la discrepancia  $M_k$  limita la corriente más y más, mientras que en el intervalo canónico  $CR_{k+1}$ , la corriente ya es más limitada por los receptores con la discrepancia  $M_{k+1}$ ), hasta que el pico de potencia  $P_{m_k}$  es igual al pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$ ; las simulaciones han demostrado que una diferencia relativa (no coincidente), entre la discrepancia  $M_{k+1}$  y la discrepancia  $M_k$  (por ejemplo, como un porcentaje con respecto a la discrepancia  $M_k$ ), que hace que el pico de potencia  $P_{m_k}$  igual al pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$  sea sustancialmente independiente de las discrepancias de receptores del generador fotovoltaico, es decir, es un valor característico del mismo y en lo sucesivo se denomina discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$  de primer orden. Por ejemplo, la FIG. 2G muestra una curva I-V 205g y una curva P-V 210g correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-2}=0$ ,  $M_{N-1}=51\%$  y  $M_N=60\%$ , en el que la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$  es, por ejemplo,  $Mcr(1)=(0,60-0,51)/(1-0,51)=18,4\%$ . A medida que la discrepancia,  $M_k$  aumentar adicionalmente, la potencia pico  $P_{m_k}$  disminuye adicionalmente, volviéndose más bajo que el pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$ ; por ejemplo, la FIG. 2H muestra una curva I-V 205h y una curva p-V 210h correspondiente al caso con discrepancias  $M_{N-2}=0$ ,  $M_{N-1}=56\%$  y  $M_N=60\%$ .

Por lo tanto, si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{k+1}$  y  $M_k$  es menor que (igual que) la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$  el pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$  es mayor que (igual a) el pico de potencia  $P_{m_k}$ , mientras que si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{k+1}$  y  $M_k$  es mayor que (igual a) la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$ , el pico de potencia  $P_{m_{k+1}}$  es menor que (igual a) el pico de potencia  $P_{m_k}$ .

Consideraciones similares se aplican al caso de dos intervalos canónicos genéricos  $CR_k$  y  $CR_{k+d}$  (con discrepancias  $M_k$  y  $M_{k+d}$ , respectivamente) cuyas órdenes difieren en cualquier número  $d$  (siendo  $d=1 \dots N-2$ ), es decir, están separados por intervalos canónicos intermedios  $d-1$ . En este caso, así como existe una discrepancia  $Mcr(d)$  crítica relativa de orden  $d$  definida por una diferencia relativa (discrepancia), entre la discrepancia  $M_{k+d}$  y la discrepancia  $M_k$ , que hace que el pico de potencia  $P_{m_k}$  igual al pico de potencia  $P_{m_{k+d}}$ .

Por lo tanto, si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{k+d}$  y  $M_k$  es menor que (igual que) la discrepancia crítica  $Mcr(d)$  el pico de potencia  $P_{m_{k+d}}$  es mayor que (igual que) el pico de potencia  $P_{m_k}$ , mientras que si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{k+d}$  y  $M_k$  es mayor que (igual a) la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  la potencia pico  $P_{m_{k+d}}$  es inferior a (igual a) la potencia pico  $P_{m_k}$ .

En vista de lo anterior, para un intervalo canónico genérico  $CR_k$ , el pico de potencia  $P_{m_{k+d}}$  o de un intervalo canónico siguiente  $CR_{k+d}$  (del orden) es mayor que el pico de potencia  $P_{m_k}$  de tal intervalo canónico  $CR_k$  si y solo si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{k+d}$  y  $M_k$  es menor que la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  del mismo orden.

Por consiguiente, es posible determinar (sin la necesidad de conocer los picos de potencia  $P_{m_k}$ ) el intervalo canónico en el que el punto de máxima potencia es (en lo sucesivo, denominado intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ ). A este respecto, un intervalo canónico se considera correspondiente a la discrepancia crítica absoluta  $Mca$  del generador fotovoltaico (en adelante, denominado intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ ). El punto de máxima potencia no puede estar en los intervalos anteriores  $CR_{prec}$  (si existe) del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ ; de hecho, los picos de potencia  $P_{m_{prec}}$  de estos intervalos precedentes  $CR_{prec}$  no pueden ser más altos que el pico de potencia del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  ( $P_{m_{inicio}}$ ). El intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  se busca entre el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  y cada uno (posible) siguiendo el intervalo  $CR_{inicio+d}$  del mismo de acuerdo con una comparación de la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{inicio+d}$  y  $M_{inicio}$  con el emparejamiento crítico relativo  $Mcr(d)$  de orden  $d$  igual a la distancia entre el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  y el intervalo inicial  $CR_{inicio}$  (aprovechando el hecho de que los picos de potencia aumentan moviéndose hacia la derecha solo cuando la diferencia relativa de la falta de discrepancia correspondiente es menor que la discrepancia crítica relativa correspondiente). Una vez determinado el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ , el generador fotovoltaico puede controlarse para funcionar cerca del punto de trabajo  $I_w/V_w$  correspondiente a su pico de potencia  $P_{m_{objetivo}}$ , que es entonces el punto de máxima potencia de toda la curva P-V.

La solución mencionada anteriormente permite que el generador fotovoltaico funcione al punto de máxima potencia rápidamente, con un número reducido de iteraciones (hasta unas pocas unidades) durante las cuales el generador fotovoltaico opera lejos de él; esto implica una reducción sustancial de las correspondientes pérdidas de energía.

Esta solución es particularmente eficiente. De hecho, el punto de trabajo se puede mover con alta frecuencia y/o paso reducido para rastrear el punto de máxima potencia, de modo que la convergencia hacia él pueda ser rápida y precisa; también en este caso, las diferencias reducidas entre el punto de trabajo y el punto de máxima potencia reducen las pérdidas de energía correspondientes (especialmente en el caso de generadores fotovoltaicos del tipo de concentración cuya característica de voltaje – potencia puede variar muy rápidamente). Además, esto mitiga sustancialmente los efectos negativos de cualquier error en el seguimiento del punto de máxima potencia (por ejemplo, causado por variaciones de la irradiancia solar que modifican la potencia suministrada por el generador fotovoltaico).

Todo lo anterior aumenta sustancialmente la eficiencia energética de todo el sistema fotovoltaico.

Con referencia ahora a la figura 3, se muestra un diagrama de bloques esquemático del circuito 150 de medición de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

El circuito 150 de medición se utiliza para medir la corriente de trabajo, el voltaje de trabajo  $V_w$ , la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ . Para este propósito, el circuito 150 de medición comprende un medidor 305 de corriente y un medidor 310 de voltaje, que se acoplan con el controlador 145 para medir la corriente y el voltaje  $V$ , respectivamente, en dos terminales 315a y 315b de entrada del inversor 125 (acoplado con las terminales de salida correspondiente del generador 105 fotovoltaico). En la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación, el circuito 150 de medición comprende además dos interruptores 320 y 325 que están controlados por el controlador 145.

Particularmente, el medidor 305 de corriente está acoplado entre el terminal 315a de entrada y un terminal del bloque 130 de acumulación (en serie al generador 105 fotovoltaico); el medidor 310 de voltaje está acoplado entre los terminales 315a y 315b de entrada (en paralelo al generador 105 fotovoltaico). El interruptor 320 está acoplado entre el terminal 315b de entrada y el mismo terminal del bloque 130 de acumulación con el que está conectado el medidor de corriente 305; el interruptor 325 está acoplado entre el terminal 315b de entrada y otro terminal del bloque 130 de acumulación.

Durante el funcionamiento normal del generador 105 fotovoltaico, el interruptor 320 está abierto y el interruptor 325 está cerrado. En esta condición, los interruptores 320,325 no interfieren con la acumulación de energía eléctrica (directa) suministrada por el generador fotovoltaico en el bloque 130 de acumulación, por lo que son opacos al funcionamiento del inversor 125; por lo tanto, el medidor 305 de corriente mide la corriente de trabajo  $I_w$  y el medidor 310 de voltaje mide el voltaje de trabajo  $V_w$ .

Quando es necesario medir la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ , el interruptor 320 se cierra y el interruptor 325 se abre. En esta condición, el generador 105 fotovoltaico en serie con el medidor 305 de corriente está en cortocircuito (en los terminales 315a, 315b de entrada) por el interruptor 320 y está aislado del bloque 130 de acumulación por el interruptor 325; por lo tanto, el medidor 305 de corriente mide la corriente del cortocircuito  $I_{sc}$  (mientras que el medidor 310 de voltaje mide un valor nulo). Al mismo tiempo, suponiendo que dicha medición sea lo suficientemente rápida (por ejemplo, del orden de 0,5-2 ms en el caso de que el generador 105 fotovoltaico sea del tipo de concentración), el inversor 125 puede continuar suministrando (alternativamente) energía eléctrica con una pérdida insignificante de carga del bloque 130 de acumulación (incluso si no recibe energía eléctrica del generador 105 fotovoltaico).

Cuando es necesario medir el voltaje  $V_{oc}$  de circuito abierto, se abren los interruptores 320 y 325. En esta condición, el generador 105 fotovoltaico en paralelo al medidor 310 de voltaje está aislado del bloque 130 de acumulación; por lo tanto, el medidor 310 de voltaje mide el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$  (mientras que el medidor 305 de corriente mide un valor nulo). Como se indicó anteriormente, suponiendo que una medición de este tipo sea lo suficientemente rápida, el inversor 125 puede continuar suministrando energía eléctrica con una pérdida de carga despreciable del bloque 130 de acumulación (incluso si no recibe energía eléctrica del generador 105 fotovoltaico).

La estructura descrita anteriormente permite medir la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje del circuito abierto  $V_{oc}$ , sin interferir sustancialmente con el funcionamiento normal del inversor 105.

Alternativamente (no se muestra en la figura), la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ , se puede estimar utilizando una celda fotovoltaica de referencia (dedicada). La celda fotovoltaica de referencia es sustancialmente igual a la del generador fotovoltaico, y está dispuesta (independiente) en una posición sin ningún obstáculo ambiental (para garantizar que nunca esté sombreada en ausencia de nubes). Se utiliza un circuito de medición simple para medir una corriente de cortocircuito y un voltaje de circuito abierto de la celda de referencia. La corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$  (del generador fotovoltaico) se ajustan a la corriente de cortocircuito de la celda de referencia y al producto del voltaje de circuito abierto de la celda de referencia por el número de receptores  $N$ . Esta estructura es más simple y rentable (en detrimento de una menor precisión, por ejemplo, en condiciones de sombreado parcial).

Con referencia ahora a la Fig. 4, se muestran los componentes principales del software que pueden usarse para implementar la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

En particular, todos los componentes de software (programas y datos) se indican en conjunto con la referencia 400. Los componentes del software normalmente se almacenan en la memoria masiva y se cargan (al menos parcialmente) en la memoria de trabajo del controlador cuando se ejecutan los programas. Los programas se instalan inicialmente en la memoria masiva, por ejemplo, desde unidades de almacenamiento extraíbles o desde una red. A este respecto, cada programa puede ser un módulo, segmento o parte del código, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la función lógica especificada.

Un medidor 405 eléctrico mide o calcula los valores de uno o más parámetros eléctricos del generador fotovoltaico; por ejemplo, el medidor 405 eléctrico mide la corriente  $I$  y el voltaje  $V$  y calcula la potencia correspondiente  $P=V \cdot I$ . Un medidor 410 ambiental mide los valores de uno o más parámetros ambientales en los que opera el generador

fotovoltaico; por ejemplo, el medidor 410 ambiental mide una irradiancia directa (DNI), una irradiancia global (GNI), una temperatura posterior de las celdas ( $T_{\text{posterior}}$ ), una temperatura del aire ( $T_{\text{aire}}$ ) y una velocidad del viento ( $v$ ).

Un modelador 415 explota el medidor 405 eléctrico para determinar el modelo matemático del generador fotovoltaico (definido por los valores de los parámetros de modelado correspondientes) y para calcular su discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$  y la discrepancia crítica relativa  $M_{cr}(1)$  de primer orden (a partir de la cual las discrepancias críticas relativas de orden superior se calculan). El modelador 415 controla (en modo de escritura) un depósito 420 de modelos en el que se almacenan una o más definiciones del modelo matemático. Por ejemplo, el depósito 420 de modelos registra diferentes versiones del modelo matemático para los valores correspondientes de la temperatura posterior ( $T_{\text{posterior}}$ ); todos los modelos están definidos por parámetros de modelado constantes (por ejemplo, proporcionados por un fabricante del generador fotovoltaico), como número de receptores  $N$ , área de las celdas fotovoltaicas  $A$ , factor de idealidad de los diodos de derivación (factor de idealidad de derivación  $n_{by}$ ) y corriente de saturación inversa de los diodos de derivación (corriente de saturación de derivación  $I_{oby}$ ), mientras que cada modelo matemático específico se define mediante los correspondientes parámetros de modelado variable (determinados por el modelador 415), como la resistencia en serie equivalente de los receptores y los cableados del sistema fotovoltaico (resistencia en serie  $R_s$ ), factor de idealidad equivalente de las celdas (factor de idealidad de unión  $n_{eq}$ ), valor de referencia de la temperatura de unión de las celdas (temperatura de referencia  $T_{jr}$ ), coeficiente de temperatura en condiciones de circuito abierto y en correspondencia con la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  (coeficiente de temperatura  $\beta_r$ ), el voltaje de circuito abierto correspondiente a la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y a la temperatura de referencia  $T_{jr}$  (voltaje de referencia  $V_{ocr}$ ) y la corriente de cortocircuito correspondiente al voltaje de referencia  $V_{ocr}$  y una temperatura de referencia  $T_{jr}$  (corriente de referencia  $I_{scr}$ ). Además, el modelador 415 controla un depósito 425 de discrepancia crítica en el que se almacenan la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$  y la discrepancia crítica relativa  $M_{cr}(1)$ .

Un rastreador 430 rastrea el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. Para este propósito, el rastreador 430 explota el medidor 405 eléctrico y el medidor 410 ambiental, y accede al depósito 420 de modelos y al depósito 425 de discrepancias críticas. Un estimador 435 de temperatura estima la temperatura de unión a la que operan las celdas del generador fotovoltaico; para este propósito, el estimador 435 de temperatura también explota el medidor 405 eléctrico. El estimador 435 de temperatura registra los valores de la temperatura de la unión ( $T_j$ ) estimada a lo largo del tiempo en un depósito de temperatura de la unión 440. Un estimador 445 de rendimiento estima uno o más indicadores de rendimiento del generador fotovoltaico en condiciones estándar; por ejemplo, las condiciones estándar son las condiciones de prueba estándar (STC), referidas a la temperatura de unión  $T_j=25^\circ\text{C}$ , irradiancia directa  $DNI=1.000\text{ W/m}^2$  y el espectro solar de referencia con masa de aire  $AM=1,5D$ , y las condiciones operativas estándar (SOC), referido a la temperatura del aire,  $T_{\text{aire}}=20^\circ\text{C}$ , irradiancia directa,  $RDI=900\text{ W/m}^2$ , velocidad del viento  $v<2\text{ m/s}$  y espectro solar de referencia con masa de aire  $AM=1,5D$ , mientras que los indicadores de rendimiento son la potencia máxima ( $P_{max}$ ) y la eficiencia (EFF). Para este propósito, el estimador 445 de rendimiento explota el medidor 405 eléctrico y el medidor 410 ambiental, y accede al depósito 420 de modelos y al depósito 440 de temperatura de unión. El estimador 445 de rendimiento registra los valores de los indicadores de rendimiento estimados a lo largo del tiempo en un depósito de rendimiento 450.

Con referencia ahora a la FIG. 5, se muestra un diagrama de estado que describe los principios generales de la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

En particular, el diagrama 500 de estado describe la lógica de control del generador fotovoltaico para rastrear el punto de máxima potencia por medio de una máquina de estado finito (abstracta) que puede ser implementada por el controlador del inversor.

La máquina de estado finito está normalmente en un estado 505 (TrackPeak) para rastrear el punto de máxima potencia (en el intervalo objetivo,  $CR_{\text{objetivo}}$  previamente determinado). La máquina de estado finito inicia un procedimiento de búsqueda total del intervalo  $CR_{\text{objetivo}}$  en un momento en que se produce una condición de activación total, dependiendo de las variaciones en el tiempo de uno o más parámetros eléctricos y/o parámetros ambientales; de esta manera, el intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$  se busca cada vez que dichas variaciones provocan un cambio en la curva P-V a la izquierda del punto de trabajo  $I_w/V_w$  (que podría mover el punto de máxima potencia a un intervalo canónico  $CR_k$ , antes del intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$ ).

En respuesta a esto, la máquina de estados finitos pasa del estado 505 a un estado 510 (FindStart) para determinar el intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$ ; el intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$  se determina como aquel cuyo discrepancia  $M_{\text{inicio}}$  es inferior o igual a la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$ . Si el intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$  es igual al último intervalo  $CR_N$  (inicio=N), se identifica directamente como el intervalo objetivo (objetivo=N), debido a que los picos de potencia  $P_{m_{\text{prec}}}$  de los intervalos anteriores (posibles) pueden no ser más altos que el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}}}$  del intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$ ; en esta condición, la máquina de estado finito regresa directamente del estado 510 al estado 505.

A la inversa (inicio < N), la máquina de estados finitos pasa del estado 510 a un estado 515 (FindMismatch) para determinar la discrepancia de  $M_{\text{inicio}}$  del intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$ . El mismo estado 515 también se alcanza desde el estado 505 cuando se produce una condición de activación parcial (periódicamente), a fin de iniciar un procedimiento de búsqueda parcial del intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$ . Esto se utiliza para verificar posibles cambios en la curva P-V a la derecha del punto de trabajo  $I_w/V_w$ , que no son detectados por las condiciones de activación

totales; por lo tanto, en este caso, la búsqueda del intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$  puede comenzar directamente desde su posición actual establecida como el intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$  (de modo que incluso si en este caso la búsqueda del intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$  es muy a menudo inútil, tiene un efecto sustancialmente despreciable sobre la eficiencia energética del sistema fotovoltaico).

- 5 La máquina de estados finitos luego pasa del estado 515 al estado 520 (VerifyFollowing) para verificar los siguientes intervalos  $CR_{\text{inicio}+d}$  del intervalo inicial  $CR_{\text{inicio}}$ . Para este propósito, los siguientes intervalos  $CR_{\text{inicio}+d}$  se verifican en sucesión ( $d=d+1$ ), cada uno de acuerdo con la comparación de la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{\text{inicio}+d}$  y  $M_{\text{inicio}}$  con el correspondiente desajuste crítico relativo  $Mcr(d)$ ; dicha verificación se realiza desde el primer intervalo siguiente  $CR_{\text{inicio}+1}$  hasta que se alcanza el último intervalo  $CR_N$ . Durante esta verificación, si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{\text{inicio}+d}$  y  $M_{\text{inicio}}$  es menor que la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$ , y así el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}+d}}$  es mayor que el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}}}$ , el intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$  se mueve en el siguiente intervalo  $CR_{\text{inicio}+d}$  (inicio=inicio+d) y la máquina de estado finito vuelve al estado 515 para repetir las mismas operaciones a partir de él. Con referencia nuevamente al estado 520, una vez realizada la comparación con el último intervalo de  $CR_N$ , de modo que ningún otro intervalo de seguimiento  $CR_{\text{inicio}+d}$  pueda tener su pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}+d}}$  más alto que el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}}}$ , se identifica el intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$  con el último intervalo  $CR_N$  (objetivo=N) si la diferencia relativa de las discrepancias  $M_N$  y  $M_{\text{inicio}}$  es menor que el desfase crítico relativo  $Mcr(N-\text{inicio})$  (porque el pico de potencia  $P_{m_N}$  es mayor que el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}}}$ ) o el intervalo objetivo  $CR_{\text{objetivo}}$  se identifica con el intervalo inicial  $CR_{\text{inicio}}$  (objetivo = inicio) de lo contrario (debido a que el pico de potencia  $P_{m_N}$  tampoco es más alto que el pico de potencia  $P_{m_{\text{inicio}}}$ ); la máquina de estado finito luego pasa del estado 520 al estado 505.
- 10
- 15
- 20 La solución descrita anteriormente mejora aún más el rendimiento, ya que limita los pasajes en el estado 515 para determinar la discrepancia  $M_{\text{inicio}}$  del intervalo de inicio  $CR_{\text{inicio}}$  (que normalmente requiere un mayor número de iteraciones).

Con referencia ahora a la FIG. 6A-FIG. 6C, FIG. 7A-FIG. 7B, se muestran diagramas de actividad que describen el flujo de actividades relacionadas con una implementación de la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

A este respecto, cada bloque puede corresponder a una o más instrucciones ejecutables para implementar la función lógica especificada en el controlador.

Particularmente, el diagrama de la FIG. 6A-FIG. 6C muestra un proceso ejemplar que describe el funcionamiento del controlador durante las horas diurnas (es decir, en presencia de luz solar) con un procedimiento 600.

- 30 La condición de activación total se verifica a partir del bloque 602. El proceso pasa del bloque 602 al bloque 604 siempre que haya transcurrido un período de verificación de los parámetros eléctricos (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, del orden de 10ms-0s); en respuesta a esto, el medidor eléctrico determina una versión real de uno o más parámetros eléctricos (de verificación), por ejemplo, la corriente de trabajo  $I_w$ , el voltaje de trabajo  $V_w$  y la potencia de trabajo  $P_w$ . El rastreador en el bloque 606 recupera una versión de comparación de los parámetros eléctricos de verificación, almacenados en una variable correspondiente en un bloqueo previo del punto de máxima potencia, como se describe a continuación (denominado corriente de comparación  $I_c$ , voltaje de comparación  $V_c$  y potencia de comparación  $P_c$ ); para cada parámetro eléctrico de verificación, el rastreador calcula una variación relativa correspondiente (variación eléctrica):

$$\frac{|I_w - I_c|}{I_c}, \frac{|V_w - V_c|}{V_c}, \frac{|P_w - P_c|}{P_c}.$$

- 40 El rastreador en el bloque 608 compara cada variación eléctrica con un valor de umbral correspondiente (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, del orden del 5-10%).

Si ninguna de las variaciones eléctricas es (posiblemente estrictamente) más alta que el valor de umbral correspondiente, el rastreador en el bloque 610 verifica si ha transcurrido un período de verificación de los parámetros ambientales; el período de verificación de los parámetros ambientales es mayor que el período de verificación de los parámetros eléctricos (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, igual a 10-20 veces el período de verificación de los parámetros eléctricos). Si el período de verificación de los parámetros ambientales aún no ha transcurrido, el proceso regresa al bloque 602 en espera de un período de verificación adicional de los parámetros eléctricos. A la inversa (cuando el período de verificación de los parámetros ambientales también ha transcurrido), el proceso continúa con el bloque 612 en el que el medidor ambiental mide una versión real de uno o más parámetros ambientales (verificación), por ejemplo, el valor de la irradiancia directa de corriente  $DNI_w$  y el valor de la irradiancia global (irradiancia global de corriente  $GNI_w$ ). El rastreador en el bloque 614 recupera una versión de comparación de los parámetros ambientales, almacenados en una variable correspondiente en un bloqueo previo del punto de máxima potencia, como se describe a continuación (denominado comparación de irradiancia directa y comparación de irradiancia global  $GNI_c$ ); para cada parámetro ambiental de verificación, el rastreador calcula una variación relativa correspondiente (variación ambiental):

$$\frac{|DNI_w - DNIC|}{DNIC}, \frac{|GNI_w - GNIC|}{GNIC}.$$

El rastreador en el bloque 616 compara cada variación ambiental con un valor de umbral correspondiente (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, del orden de 5-10%). Si ninguna de las variaciones ambientales es (posiblemente estrictamente) más alta que el valor de umbral correspondiente, el proceso vuelve al bloque 602 en espera de un período de verificación adicional de los parámetros eléctricos.

Refiriéndose nuevamente al bloque 608, si al menos una de las variaciones eléctricas es (posiblemente estrictamente) más alta que el valor de umbral correspondiente, la condición de activación total se considera cumplida. De esta manera, es posible detectar cambios relativamente rápidos de la curva P-V (a la izquierda del punto de trabajo  $I_w/V_w$ ). En respuesta a esto, el rastreador inicia el procedimiento de búsqueda total del objetivo de intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ . Del mismo modo, si en el bloque 616 al menos una de las variaciones ambientales es (posiblemente estrictamente) más alta que el valor de umbral correspondiente, la condición de activación total se considera cumplida. De esta manera, es posible detectar cambios relativamente lentos de la curva P-V (a la izquierda del punto de trabajo  $I_w/V_w$ ), que pueden no ser detectados por las variaciones eléctricas. En respuesta a esto, también en este caso el rastreador inicia el procedimiento de búsqueda total del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ . El procedimiento de búsqueda total del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  también comenzó directamente desde un bloque 622 cuando se activa la operación diurna del generador fotovoltaico (por ejemplo, al comienzo de cada día).

El flujo de actividad correspondiente comienza en el bloque 624, en el que el medidor eléctrico mide la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ . Continuando con el bloque 626, el estimador de temperatura calcula la temperatura de unión  $T_j$ , por ejemplo, aplicando la siguiente fórmula:

$$T_j = \frac{V_{oc} - V_{ocr} + \beta r \cdot T_{jr}}{N \cdot \frac{K}{q} n_{eq} \cdot \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_{scr}}\right) + \beta r},$$

basado en el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$  (recién medido) y en el voltaje de referencia  $V_{ocr}$ , el coeficiente de temperatura  $\beta r$ , la temperatura de referencia  $T_{jr}$ , el número de receptores  $N$ , factor de idealidad de equivalencia  $n_{eq}$  y la corriente de referencia  $I_{scr}$  (extraída del depósito modelo) además de la constante  $K$  de Boltzmann y el valor absoluto de la carga  $q$  de electrones. El estimador de temperatura guarda la temperatura de la unión en el depósito de temperaturas (agregando un registro correspondiente). Esto hace posible estimar la temperatura de unión  $T_j$ , incluso cuando el generador fotovoltaico no está equipado con sensores para su medición (especialmente en el caso de generadores fotovoltaicos del tipo de concentración en los que esta medición no es posible). Sin embargo, en la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación, la temperatura  $T_j$  de la unión se estima en línea (mediante la explotación de la información ya disponible para el seguimiento del punto de máxima potencia), sin interrumpir el funcionamiento del generador fotovoltaico, y luego el suministro de energía. La temperatura de la unión  $T_j$  puede mostrarse en una pantalla del inversor (por ejemplo, su pantalla táctil), lo que permite monitorizarla en tiempo real; al mismo tiempo, las temperaturas de unión  $T_j$  registradas en el depósito de temperatura permiten analizar su tendencia en el tiempo para fines de diagnóstico. Esto permite verificar el funcionamiento correcto del generador fotovoltaico (por ejemplo, de sus disipadores de calor), para intervenir rápidamente con operaciones de mantenimiento extraordinarias tan pronto como sea necesario.

Con referencia ahora al bloque 628, el rastreador controla el generador fotovoltaico para proporcionar una corriente de trabajo que corresponda a la discrepancia crítica absoluta  $M_{ca}$  (corriente crítica absoluta  $I_{ca}$ ), es decir:

$$I_{ca} \cdot I_{sc} = (I - M_{ca}).$$

El medidor eléctrico mide el voltaje de trabajo  $V_w$  y calcula la potencia de trabajo  $P_w$  en el bloque 630. Continuando con el bloque 632, el rastreador determina el intervalo canónico de trabajo  $CR_w$  al cual el punto de trabajo  $I_w/V_w$  pertenece, que luego identifica el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ , a través del modelo matemático del generador fotovoltaico. Por ejemplo, la curva I-V se puede definir mediante la siguiente ecuación característica:

$$V(I) = \sum_{i=1}^N \left( \sum_{z=1}^i \frac{KT_z}{q} n_{eq} \ln \left( 1 + \frac{I_k - I}{I_{o_{eq}}} \right) - R_s \cdot I - \sum_{z=i+1}^N \frac{KT_{bz}}{q} n_{bz} \ln \left( 1 + \frac{I - I_k}{I_{o_{bz}}} \right) \right) \cdot w_i(I),$$

Donde  $I_k$  es el valor de la corriente suministrada por el receptor  $k$ ,  $I_{o_{eq}}$  es la corriente de saturación inversa equivalente de las celdas (corriente de saturación inversa de unión),  $T_{bz}$  es la temperatura de los diodos de derivación y

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{si } I_k < I < I_{k+1} \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases}$$

(además de la constante K de Boltzmann, la temperatura de unión T<sub>j</sub>, el valor absoluto de la carga de electrones q, factor de idealidad equivalente de unión n<sub>eq</sub>, resistencias en serie R<sub>s</sub>, factor de idealidad de derivación n<sub>by</sub> y la corriente de saturación inversa de derivación I<sub>0by</sub>). A partir de esta ecuación se obtiene, para cada punto de trabajo I<sub>w</sub>/I<sub>w</sub> en el que los receptores k que están activos:

$$V_w \approx \frac{KT_j}{q} n_{eq} \cdot \ln\left(\frac{I_1 - I_w}{I_{0eq}}\right) + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \cdot \ln\left(\frac{I_2 - I_w}{I_{0eq}}\right) + \dots + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \cdot \ln\left(\frac{I_k - I_w}{I_{0eq}}\right) +$$

$$-(N \cdot R_s) \cdot I_w - \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w - I_{k+1}}{I_{0by}}\right) - \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w - I_{k+2}}{I_{0by}}\right) + \dots - \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w - I_N}{I_{0by}}\right).$$

Asumiendo que (con efectos insignificantes en la precisión) las cantidades logarítmicas son todas iguales, y particularmente en aquellas (positivas) de todos los receptores activos I<sub>k</sub>=I<sub>sc</sub> y en aquellos (negativos) de todos los receptores inactivos I<sub>k</sub>=0, tenemos:

$$V_w = k \cdot \frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{0eq}}\right) - R_s \cdot I_w - (N - k) \cdot \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right),$$

de la que:

$$k = \frac{V_w + R_s \cdot I_w + N \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)}{\frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{0eq}}\right) + \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)}.$$

A pesar de la corriente de saturación inversa de unión I<sub>0eq</sub> depende en gran medida de la temperatura (y es difícil de estimar), la cantidad

$$\frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{0eq}}\right) \text{ es sustancialmente igual a } \frac{V_{oc}}{N} + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{sc}}\right), \text{ de modo que:}$$

$$k = \frac{V_w + R_s \cdot I_w + N \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)}{\frac{V_{oc}}{N} + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{sc}}\right) + \frac{KT_{by}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)}.$$

La temperatura de los diodos de derivación T<sub>by</sub>, incluso si no se conoce, se puede considerar un valor constante igual al valor promedio de la temperatura posterior T<sub>posterior</sub> (temperatura posterior promedio T<sub>media</sub>), ya que afecta ligeramente el resultado de la fórmula. Por lo tanto, el orden del intervalo canónico de trabajo CR<sub>w</sub> es determinado por el número (entero) de receptores que están activos:

$$CR_w = INT \left( \frac{V_w + R_s \cdot I_w + N \frac{KT_{media}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)}{\frac{V_{oc}}{N} + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln\left(\frac{I_{sc} - I_w}{I_{sc}}\right) + \frac{KT_{media}}{q} n_{by} \ln\left(\frac{I_w}{I_{0by}}\right)} \right),$$

depende de la serie de resistencia R<sub>s</sub>, número de receptores N, temperatura posterior promedio T<sub>media</sub>, factor de idealidad de derivación n<sub>by</sub>, factor de idealidad equivalente de unión n<sub>eq</sub>, corriente de saturación inversa de derivación I<sub>0by</sub> (extraída del depósito de modelos) y en el voltaje de trabajo V<sub>w</sub>, corriente de trabajo I<sub>w</sub>, voltaje de circuito abierto V<sub>oc</sub>, corriente de cortocircuito I<sub>sc</sub>, temperatura de unión T<sub>j</sub> (recién determinada), además de la constante K de Boltzmann y el valor absoluto de la carga de electrones q.

Alternativamente, es posible representar el funcionamiento del generador fotovoltaico a través del modelo matemático de un generador ficticio (fotovoltaico), que tiene un número de receptores (ficticios)  $N'$  menos que el número de receptores  $N$  del generador fotovoltaico, que tiene la misma curva I-V (y luego la misma curva P-V también). En este caso, el orden de los intervalos canónicos de trabajo (ficticios)  $CR_w$  viene dado por:

$$CR_w = INT \left( \frac{V_w + R_s \cdot I_w + N \frac{KT_{media}}{q} n_{by} \ln \left( \frac{I_w}{I_{O_{by}}} \right)}{\frac{V_{oc}}{N} + \frac{KT_j}{q} n_{eq} \ln \left( \frac{I_{sc} - I_w}{I_{sc}} \right) + \frac{KT_{media}}{q} n_{by} \ln \left( \frac{I_w}{I_{O_{by}}} \right)} \cdot \frac{N'}{N} \right)$$

El uso del generador fotovoltaico ficticio hace que la búsqueda del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  más rápido (ya que el número de intervalos canónicos  $CR_k$  es menor) pero la búsqueda del punto de máxima potencia más lento (ya que el ancho de los intervalos canónicos  $CR_k$  es mayor); por lo tanto, esto se vuelve ventajoso a medida que aumenta el número de receptores que generalmente tienen discrepancia (dado que el número de intervalos canónicos  $CR_k$  aumenta en consecuencia). Los resultados experimentales han demostrado que es conveniente usar el generador fotovoltaico ficticio cuando el número de receptores  $N$  es mayor que un valor de umbral del orden de 8-16, preferiblemente 10-14 y aún más preferiblemente 11-13, tal como 12, establece el número ficticio de receptores  $N'$  igual a este valor de umbral.

En este punto, el rastreador inicia el procedimiento de búsqueda parcial del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  (a partir del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ ). Esto sucede incluso cuando no sería necesario (es decir, cuando el intervalo de inicio de  $CR_{inicio}$  es igual al último intervalo de  $CR_N$  y, por lo tanto, ya identifica el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ ); De esta manera, como se describe a continuación, se garantiza que el punto de máxima potencia siempre se determine aproximadamente dentro del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ . El procedimiento de búsqueda parcial del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  también comenzó directamente desde un bloque 634 cada vez que ha transcurrido un período de activación parcial (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, del orden de 10-20s) que define el cumplimiento de la condición de activación parcial. En este caso, el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  se iguala al objetivo de intervalo objetivo de corriente  $CR_{objetivo}$ ; además, la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$  se mantuvieron iguales a los medidos en el procedimiento de búsqueda total anterior del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  (siempre se realiza al menos una vez después de la activación del generador fotovoltaico), ya que se puede considerar que tienen el mismo valor que los parámetros ambientales (de verificación) sustancialmente sin cambios.

El procedimiento de búsqueda parcial del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  implica la ejecución de un ciclo correspondiente hasta que se determine. El ciclo de búsqueda del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  comienza con la determinación de la discrepancia  $M_{inicio}$  del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ . A su vez, la determinación de la discrepancia  $M_{inicio}$  implica, en primer lugar, un ciclo de búsqueda de la meseta del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  (en su extremo izquierdo). El ciclo de búsqueda de la meseta comienza en el bloque 636, en el que el rastreador controla el generador fotovoltaico para proporcionar una nueva corriente de trabajo  $I_w$  que se incrementa (como máximo hasta la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ ) en un paso (búsqueda de meseta)  $\Delta I_m$ , es decir,  $I_w = I_w + \Delta I_m$ , para mover el punto de trabajo  $I_w/V_w$  a la izquierda. El paso  $\Delta I_m$  puede ser relativamente grande (por ejemplo, 0,5-2%), siempre que no sea demasiado grande para arriesgarse a saltarse la meseta; en consecuencia, la búsqueda de la meseta es relativamente rápida (normalmente requiere algunas iteraciones), lo que limita la reducción del rendimiento energético del sistema fotovoltaico. El medidor eléctrico en el bloque 638 mide el voltaje de trabajo  $V_w$  y calcula la potencia de trabajo  $P_w$ . Se realiza una prueba en el bloque 640, en el que el rastreador compara la potencia de trabajo  $P_w$  con la potencia ( $P_{búsqueda}$ ) de un punto de búsqueda indicado en una variable correspondiente, por su corriente ( $I_{búsqueda}$ ) y su voltaje ( $V_{búsqueda}$ ), inicializado al punto de trabajo  $I_w/V_w$  al entrar en el ciclo de búsqueda de la meseta. Si la potencia de trabajo  $P_w$  es (estrictamente) mayor que la potencia del punto de búsqueda  $P_{búsqueda}$ , el rastreador en el bloque 642 guarda una indicación del punto de trabajo  $I_w/V_w$  como un nuevo punto de búsqueda en la variable correspondiente ( $I_{búsqueda} = I_w$ ,  $V_{búsqueda} = V_w$ ). El proceso entonces continúa al bloque 644; el mismo punto también se alcanza directamente desde el bloque 640 si la potencia de trabajo  $P_w$  es inferior o igual a la potencia del punto de búsqueda  $P_{búsqueda}$ . De esta manera, durante el ciclo de búsqueda de la meseta, el pico de potencia  $P_{m_{inicio}}$  del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  se estima aproximadamente (con una resolución definida por el paso  $\Delta I_m$ ).

En este punto, el rastreador determina el intervalo canónico de trabajo  $CR_w$  al que pertenece el punto de trabajo  $I_w/V_w$  pertenece a través del modelo matemático del generador fotovoltaico como se indicó anteriormente. El rastreador en el bloque 646 luego verifica una condición de salida del ciclo de búsqueda de la meseta. En particular, si la corriente de trabajo  $I_w$  es (estrictamente) más baja que la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y si el intervalo canónico de trabajo  $CR_w$  ha permanecido igual al intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  ( $w = inicio$ ), es decir, todavía es posible mover el al punto  $I_w/V_w$  a la izquierda, el proceso regresa al bloque 636 para reiterar el ciclo de búsqueda de la meseta. A la inversa, cuando la corriente de trabajo  $I_w$  es igual a la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  (es decir, se ha alcanzado el comienzo de la curva IV) o el intervalo canónico de trabajo  $CR_w$  es diferente del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  ( $w < inicio$ ), el ciclo de búsqueda de la meseta termina descendiendo hacia el bloque 648. En esta condición, un último punto de trabajo  $I_w/V_w$  del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  durante el ciclo de búsqueda de la meseta, es decir, el punto de trabajo actual (si  $I_w = I_{sc}$ ) o el anterior (de lo contrario), se encuentra en su meseta (si el paso  $\Delta I_m$  no es demasiado grande);

por lo tanto, la corriente correspondiente, es decir,  $I_w$  (si  $I_w=I_{sc}$ ) o  $I_w-\Delta I_m$  (de lo contrario), define la corriente suministrable  $I_{m_{inicio}}$  por los receptores del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ . El rastreador puede entonces calcular la discrepancia correspondiente:

$$M_{inicio} = (I_{sc} - I_{m_{inicio}})/I_{sc}.$$

- 5 El procedimiento de búsqueda (total o parcial) del intervalo objetivo  $CR_{inicio}$  continúa con la verificación de los siguientes intervalos  $CR_{succ}$  del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ . El flujo de actividad correspondiente comienza en el que el bloque 650, en el que el rastreador compara el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  con el último intervalo de CRN. Si el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  es diferente del último intervalo de  $CR_N$  (inicio<N), se realiza un ciclo de verificación para verificar los siguientes intervalos de sucesión  $R_{succ+d}$  en (a partir del primero para  $d=1$ ), cada uno de acuerdo con la comparación de la diferencia relativa de discrepancias  $M_{inicio+d}$  y  $M_{inicio}$  con la correspondiente discrepancia crítica  $Mcr(d)$ ; en una realización de la presente divulgación, esta comparación se realiza indirectamente a través de las siguientes operaciones, sin la necesidad de determinar la discrepancia  $M_{inicio+d}$ . En particular, el ciclo de verificación comienza en el bloque 652, donde el modelador determina la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$ . Para este propósito, la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  se extrae del depósito de discrepancia crítica cuando es del primer orden ( $d=1$ ); en los otros casos ( $d>1$ ), la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  se calcula aproximadamente mediante la siguiente fórmula empírica (basada en el número de receptores N):

$$Mcr(d) = Mcr(1) + (d-1)/N.$$

- 20 Esto permite determinar la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  de cualquier orden muy rápidamente; sin embargo, las simulaciones han demostrado que la aproximación correspondiente no compromete la identificación correcta del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ . El simulador en el bloque 654 calcula un valor de prueba de la discrepancia (discrepancia de prueba  $Mprueba$ ) igual a la discrepancia  $M_{inicio}$  incrementada de acuerdo con la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$ ; por ejemplo, si, en general, la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$  se define de acuerdo con la siguiente diferencia relativa de las discrepancias  $M_k$  y  $M_{k+d}$ :

$$Mcr(d) = (M_{k+d}-M_k)/(1-M_k),$$

- 25 La discrepancia de prueba  $Mprueba$  es:

$$Mprueba = M_{inicio} + Mcr(d) \cdot (1 - M_k)$$

Con referencia ahora al bloque 656, el rastreador controla el generador fotovoltaico para proporcionar una corriente de trabajo que corresponda a la discrepancia de prueba (corriente de prueba  $Iprueba$ ), es decir:

$$Iprueba = I_{sc} \cdot (1 - Mprueba).$$

- 30 El medidor eléctrico luego mide el voltaje de trabajo  $V_w$  (de prueba) en el bloque 658. Continuando con el bloque 660, el rastreador determina el intervalo de trabajo  $CR_w$  al cual el punto de trabajo (de prueba)  $I_w/V_w$  pertenece a través del modelo matemático del generador fotovoltaico como se mostró anteriormente. Se realiza una prueba en el bloque 662, en el que el rastreador compara el intervalo de trabajo  $CR_w$  con el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$ .

- 35 Si el orden del intervalo de trabajo  $CR_w$  es más bajo que el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  ( $w < inicio+d$ ), esto significa que la discrepancia del siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  es mayor o igual que la prueba discrepancia  $Mprueba$ , y luego la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{inicio+d}$  y  $M_{inicio}$  es mayor que o igual al error crítico relativo  $Mcr(d)$ , de modo que la potencia pico  $P_{m_{inicio+d}}$  sea inferior o igual a la potencia pico  $P_{m_{inicio}}$ . En este caso, el flujo de actividad se ramifica en el bloque 664 de acuerdo con el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$ . Si el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  es diferente del último intervalo  $CR_N$  (inicio+d<N), el rastreador en el bloque 666 pasa al siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  ( $d=d+1$ ). El flujo de actividad luego regresa al bloque 652 para repetir las mismas operaciones.

- 40 Con referencia de nuevo al bloque 662, si en cambio el intervalo de trabajo  $CR_w$  es mayor o igual que el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$ , esto significa que la discrepancia del siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  es más baja que la discrepancia de prueba  $Mprueba$ , y luego la diferencia relativa de las discrepancias  $M_{inicio+d}$  y  $M_{inicio}$  es inferior a la discrepancia crítica relativa  $Mcr(d)$ , por lo que el pico de potencia  $P_{m_{inicio+d}}$  es más alto que el pico de potencia  $p_{m_{inicio}}$ . En este caso, el rastreador en el bloque 668 establece el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  como nuevo intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  (inicio=inicio+d). El flujo de actividad luego regresa al bloque 636 para reiniciar el ciclo de búsqueda del objetivo de intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ . Esto sucede incluso cuando no sería necesario (es decir, cuando el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  es igual al último intervalo  $CR_N$  y entonces ya identifica el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ ); de esta manera, como se indicó anteriormente, se garantiza que el punto de máxima potencia siempre se determina aproximadamente dentro del intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ .

- 50 Con referencia de nuevo al bloque 664, si el siguiente intervalo  $CR_{inicio+d}$  es igual al último intervalo  $CR_N$  (inicio+d=N), el rastreador en el bloque 670 identifica el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  con el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$ . También se alcanza el mismo punto desde el bloque 650 si el intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  es igual al último intervalo  $CR_N$  (inicio=N), de modo que, en este caso, así como el rastreador también identifica el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$  con el intervalo de

inicio  $CR_{inicio}$  (igual al último intervalo  $CR_N$ ). En ambos casos, el punto de máxima potencia ahora se rastrea en el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ .

El flujo de actividades correspondiente comienza en el bloque 674 (desde el bloque 650 o desde el bloque 666), en el que el rastreador controla el generador fotovoltaico para proporcionar la corriente de la búsqueda del punto de búsqueda  $I_{search}$  (indicada en la variable correspondiente), cuyo punto de búsqueda se ha determinado durante el ciclo de búsqueda de la meseta del intervalo de inicio  $CR_{inicio}$  (ahora intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ ), siempre se realiza como se indicó anteriormente; de esta manera, el seguimiento del punto de máxima potencia comienza desde el punto de búsqueda que ya corresponde a este aproximadamente, por lo que el punto de trabajo  $I_w/V_w$  puede converger hacia el punto de máxima potencia muy rápidamente. En este punto, se realiza un ciclo de seguimiento continuamente (del pico de potencia  $P_{mobjetivo}$  en el intervalo objetivo  $CR_{objetivo}$ , es decir, el punto de máxima potencia de toda la curva P-V) hasta que ocurra una de las condiciones descritas anteriormente, es decir, el período de verificación de los parámetros eléctricos o el período de activación parcial ha transcurrido (o el generador fotovoltaico está desactivado, por ejemplo, por la noche); el ciclo de seguimiento comienza en el bloque 676, en el que el rastreador controla el generador fotovoltaico para proporcionar una nueva corriente de trabajo  $I_w$  que se incrementa en un paso  $\Delta I_p$  (seguimiento del punto de máxima potencia), es decir,  $I_w = I_w + \Delta I_p$ , para mover el punto de trabajo  $I_w/V_w$  en una dirección (seguimiento del punto de máxima potencia) a la izquierda si  $\Delta I_p > 0$  o a la derecha si  $\Delta I_p < 0$  (con  $\Delta I_p$  de cualquier señal de principio). El paso  $\Delta$  puede ser muy pequeño (por ejemplo, 0,05-0,2%) para aumentar la precisión del seguimiento del punto de máxima potencia (y por lo tanto la eficiencia energética del sistema fotovoltaico) sin comprometer sustancialmente la velocidad de convergencia (en razón a que el punto de trabajo  $I_w/V_w$  ya está muy cerca del punto de máxima potencia). El medidor eléctrico en el bloque 678 mide el voltaje de trabajo  $V_w$  y calcula la potencia de trabajo  $P_w$ . Se realiza una prueba en el bloque 680, donde el rastreador compara la potencia de trabajo  $P_w$  con una versión anterior del mismo (potencia anterior  $P_{prec}$ ), guardado en una variable correspondiente (inicializada a la potencia  $P_{search}$  del punto de búsqueda). Si la potencia de trabajo  $P_w$  es mayor o igual que la potencia anterior  $P_{prec}$ , el proceso vuelve al bloque 676 para continuar con la misma dirección de seguimiento. Por el contrario, si la potencia de trabajo  $P_w$  es (estrictamente) más baja que la potencia anterior  $P_{prec}$ , el rastreador en el bloque 682 cambia el signo del paso  $\Delta I_p$  ( $\Delta I_p = -\Delta I_p$ ) para invertir la dirección de seguimiento. Luego se realiza una prueba en el bloque 684, en el que el rastreador verifica si se ha bloqueado el punto de máxima potencia; por ejemplo, esto ocurre cuando la dirección de seguimiento cambia repetidamente durante un número predeterminado de iteraciones sucesivas del ciclo de seguimiento (por ejemplo, 2-6), lo que indica que el punto de trabajo de trabajo  $I_w/V_w$  se gira alrededor del punto de máxima potencia. Si el punto de máxima potencia no se ha bloqueado o ya se había bloqueado previamente durante el ciclo de seguimiento, el proceso regresa al bloque 676 para repetir las mismas operaciones.

Por el contrario, tan pronto como se haya bloqueado el punto de máxima potencia (por primera vez durante el ciclo de seguimiento), el rastreador en el bloque 685 guarda la versión real de los parámetros eléctricos como su nueva versión de comparación ( $I_c = I_w$ ,  $V_c = V_w$  y  $P_c = P_w$ ); al mismo tiempo, el medidor ambiental mide de nuevo la irradiancia directa de corriente  $DNI_w$  y la irradiancia global de corriente  $GNI_w$ , y los guarda como una nueva versión de los parámetros ambientales ( $DNI_c = DNI_w$  y  $GNI_c = GNI_w$ ). En este punto, el medidor ambiental en el bloque 686 mide la temperatura del aire  $T_{aire}$  y la velocidad del viento  $v$ . Continuando con el bloque 688, el estimador de rendimiento calcula los indicadores de rendimiento en condiciones estándar. Por ejemplo, el estimador de rendimiento calcula la potencia máxima  $P_{max}$  y la eficiencia  $EFF = P_{max}/(DNI \cdot A)$  en las condiciones STC y SOC, utilizando fórmulas conocidas per se basadas en la potencia de trabajo  $p_w$ , correspondiente a la del punto de potencia máxima (calculado anteriormente), en la temperatura del aire  $T_{aire}$  y velocidad del viento  $v$  (medida anteriormente) y en el número de receptores  $N$ , área de celda  $A$ , factor de idealidad equivalente  $n_{eq}$ , coeficiente de temperatura  $\beta_r$ , temperatura de unión de referencia  $T_{jr}$  (extraída del depósito de modelos). El estimador de rendimiento luego guarda los indicadores de rendimiento en el depósito de rendimiento (agregando un registro correspondiente). Los indicadores de rendimiento así obtenidos son independientes de las condiciones ambientales, de modo que permiten determinar cuándo un deterioro del rendimiento del generador fotovoltaico es provocado realmente por su degradación. Sin embargo, en la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación, los indicadores de rendimiento estándar también se calculan en línea (mediante la explotación de la información ya disponible), sin interrumpir el funcionamiento del generador fotovoltaico, y luego el suministro de energía. Los indicadores de rendimiento se pueden mostrar en la pantalla del inversor, para permitir su monitorización en tiempo real; al mismo tiempo, los indicadores de rendimiento registrados en el depósito de rendimiento permiten analizar su tendencia en el tiempo para fines de diagnóstico. Esto permite verificar el funcionamiento correcto del generador fotovoltaico, para intervenir rápidamente con operaciones de mantenimiento extraordinarias tan pronto como sea necesario. El proceso vuelve entonces al bloque 676 para repetir las mismas operaciones.

El diagrama de la FIG. 7A-FIG. 7B en su lugar representa un proceso ejemplar que describe el funcionamiento del controlador durante las horas nocturnas (es decir, en ausencia de luz solar) con un procedimiento 700.

El proceso pasa del bloque 703 al bloque 706 cada vez que se alcanza un intervalo de modelado predeterminado (durante la noche, por ejemplo, entre las 23:00 y las 4:00). En respuesta a esto, el medidor ambiental mide la temperatura posterior  $T_{posterior}$  (que puede considerarse sustancialmente igual a la temperatura interna del generador fotovoltaico en estas condiciones). Se realiza una prueba en el bloque 709, en el que el modelador

compara la temperatura posterior  $T_{\text{posterior}}$  con la anterior correspondiente a una última medición guardada en el depósito de modelos (temperatura anterior  $T_{\text{prec}}$ ). Si la diferencia en el valor absoluto entre la temperatura posterior  $T_{\text{posterior}}$  y los valores de temperatura anteriores  $T_{\text{prec}}$  (posiblemente estrictamente) más bajos que un valor de umbral correspondiente (por ejemplo, establecido como parámetro de configuración del inversor, del orden de 1-3°C), el proceso vuelve al bloque 703 para repetir las mismas operaciones continuamente hasta que el tiempo permanezca dentro del intervalo de modelado.

A la inversa, si la diferencia en el valor absoluto entre la temperatura posterior  $T_{\text{posterior}}$  y la temperatura anterior  $T_{\text{prec}}$  es (posiblemente estrictamente) más alto que el valor umbral, el modelador en el bloque 712 mide la curva I-V en estas condiciones de ausencia de luz (curva I-V oscura); esto ocurre a través de un procedimiento conocido per se, por ejemplo, aplicando un tren de pulsos de corriente  $I$  por el inversor al generador fotovoltaico (que en este caso operaría como una carga) en un intervalo de cero a la corriente de referencia  $I_{\text{scr}}$  correspondiente a la temperatura anterior  $T_{\text{prec}}$  guardada en el depósito de modelo (con una dinámica como para evitar el calentamiento de las celdas fotovoltaicas, pero al mismo tiempo para evitar el funcionamiento en estado transitorio) y la medición del voltaje  $V$  correspondiente. El modelador guarda una indicación de la curva I-V oscura (en asociación con la Temperatura posterior  $T_{\text{posterior}}$ ) en un nuevo registro en el depósito de modelos. Continuando con el bloque 715, el modelador calcula los parámetros de modelado correspondientes a curva I-V oscura y los guarda en el depósito de modelos (en asociación con ellos). Por ejemplo, al utilizar fórmulas conocidas per se, el modelador calcula las resistencias en serie  $R_s$ , el factor de idealidad equivalente  $n_{\text{eq}}$ , la temperatura de referencia  $T_{\text{jr}}$ , el voltaje de referencia  $V_{\text{ocr}}$ , y la corriente de referencia  $I_{\text{scr}}$  (de acuerdo con esta curva I-V oscura) y el coeficiente de temperatura  $\beta_r$  (de acuerdo con un número predeterminado de las últimas curvas I-V oscuras, por ejemplo, 30-70). De esta manera, los parámetros de modelado se actualizan dinámicamente de acuerdo con las características reales del generador fotovoltaico; además, sus versiones registradas en el depósito de modelos (relacionados con diferentes curvas I-V oscuras medidas a lo largo del tiempo) permiten analizar la tendencia en el tiempo con fines de diagnóstico (para verificar el funcionamiento correcto del generador fotovoltaico, por ejemplo, sus contactos eléctricos).

Continuando con el bloque 718, el modelador calcula (a partir de la curva I-V oscura con fórmulas conocidas per se) la curva I-V en condiciones ideales, es decir, sin ninguna discrepancia (curva I-V ideal). El modelador luego pasa para calcular la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$ . Para este propósito, el modelador en el bloque 721 determina el pico de potencia único del curva I-V ideal. El modelador luego realiza un ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$ . El ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$  empieza en el bloque 724, en el que el modelador aumenta la discrepancia  $M_N$  (comenzando desde cero) por un paso (búsqueda de la discrepancia crítica absoluta)  $\Delta M_{\text{ca}}$ , por ejemplo, 0,1-2%. El modelador en el bloque 727 calcula la corriente de entrega  $I_{\text{mN}}$  correspondiente a la discrepancia (aumentado)  $M_N$ :

$$I_{\text{mN}} = I_{\text{sc}} \cdot (1 - M_N).$$

Continuando con el bloque 730, el modelador actualiza la curva I-V ideal de acuerdo con la corriente (reducida) suministrable  $I_{\text{mN}}$ . El modelador en el bloque 733 luego calcula el pico de potencia de la curva I-V ideal (actualizada). Se realiza una prueba en el bloque 736, en el que el modelador compara el pico de potencia  $P_{\text{mN}}$  con el pico de potencia  $P_{\text{mN-1}}$  (siempre igual al pico de potencia único de la curva I-V ideal). Si la potencia pico  $P_{\text{mN}}$  es mayor o igual que la potencia pico  $P_{\text{mN-1}}$ , el proceso regresa al bloque 724 para reiterar el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$ . A la inversa, tan pronto como la potencia pico  $P_{\text{mN}}$  es más baja que la potencia pico  $P_{\text{mN-1}}$ , el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$  desciende al bloque 739; en este punto, la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$  se iguala a la discrepancia  $M_N$  (a la salida del ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$ ).

El modelador luego pasa a calcular la discrepancia crítica relativa  $M_{\text{cr}}(1)$  de primer orden (basado en el caso más simple en el que solo los dos últimos intervalos canónicos  $CR_{\text{N-1}}$  y  $CR_N$  tienen discrepancia). Para este propósito, el modelador en el bloque 742 regresa a la curva I-V ideal (sin ninguna discrepancia); el modelador luego establece la discrepancia  $M_N$  en un valor arbitrario distinto de cero, pero más alto que la discrepancia crítica absoluta  $M_{\text{ca}}$  (por ejemplo, 40-60%), y calcula la corriente de suministro correspondiente a  $I_{\text{mN}}$  correspondiente a:

$$I_{\text{mN}} = I_{\text{sc}} \cdot (1 - M_N).$$

Luego, el modelador realiza un ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa  $M_{\text{cr}}(1)$ . El ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa  $M_{\text{cr}}(1)$  comienza en el bloque 745, en el que el modelador aumenta la discrepancia  $M_{\text{N-1}}$  (comenzando desde cero) en un paso  $\Delta M_{\text{cr}}$  (búsqueda de discrepancia crítica relativa), por ejemplo, 0,1-2%. El modelador en el bloque 748 calcula la corriente de entrega  $I_{\text{mN-1}}$  correspondiente a la discrepancia (aumentada)  $M_{\text{N-1}}$ :

$$I_{\text{mN-1}} = I_{\text{sc}} \cdot (1 - M_{\text{N-1}}).$$

Continuando con el bloque 751, el modelador actualiza el Curva I-V Ideal de acuerdo con la corriente (reducida) suministrable  $I_{\text{mN-1}}$ . El modelador en el bloque 754 luego calcula el pico de potencia  $P_{\text{mN-1}}$  y el pico de potencia  $P_{\text{mN}}$  de la curva I-V ideal (actualizada), ambas variadas como consecuencia del aumento de la discrepancia  $M_{\text{N-1}}$ . Se

realiza una prueba en el bloque 757, en el que el modelador compara el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  con el pico de potencia  $P_{m_N}$ . Si el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  es mayor que el pico de potencia  $P_{m_N}$ , el proceso regresa al bloque 745 para reiterar el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$ . Por el contrario, tan pronto como el pico de potencia  $P_{m_{N-1}}$  es inferior o igual al pico de potencia  $P_{m_N}$ , el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$  termina descendiendo hacia el bloque 760; en este punto, la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$  se calcula de acuerdo con la discrepancia  $M_N$  y la discrepancia  $M_{N-1}$  (a la salida del ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa  $Mcr(1)$ ):

$$Mcr(1) = (M_N - M_{N-1}) / (1 - M_{N-1}),$$

El proceso regresa al bloque 703 para repetir las mismas operaciones continuamente hasta que el tiempo permanezca en el intervalo de modelado.

Naturalmente, para satisfacer los requisitos locales y específicos, una persona experta en la técnica puede aplicar muchas modificaciones y alteraciones lógicas y/o físicas a la presente divulgación. Más específicamente, aunque esta divulgación se ha descrito con un cierto grado de particularidad con referencia a una o más realizaciones de la misma, debe entenderse que son posibles diversas omisiones, sustituciones y cambios en la forma y detalles, así como otras realizaciones. En particular, incluso se pueden practicar diferentes realizaciones de la presente divulgación sin los detalles específicos (tales como los valores numéricos) establecidos en la descripción anterior para proporcionar una comprensión más completa de la misma; a la inversa, las características conocidas pueden haberse omitido o simplificado para no ocultar la descripción con detalles innecesarios. Además, se pretende expresamente que los elementos específicos y/o las etapas del procedimiento descritos en relación con cualquier realización de la presente divulgación puedan incorporarse en cualquier otra realización como cuestión de elección de diseño general. En cualquier caso, cada valor numérico debe leerse como modificado por el término aproximadamente (a menos que ya esté hecho) y cada intervalo de valores numéricos debe considerarse como especificando expresamente cualquier número posible a lo largo de la categoría dentro del intervalo (que comprende sus puntos de extremo). Además, los calificativos ordinales u otros se utilizan simplemente como etiquetas para distinguir elementos con el mismo nombre, pero no connotan por sí mismos ninguna prioridad, precedencia u orden. Los términos incluyen, comprenden, tienen, contienen e implican (y cualquier forma de los mismos) debe entenderse con un significado abierto, no exhaustivo (es decir, no limitado a los elementos citados), los términos basados en, dependiendo de, de acuerdo con, función de (y cualquiera de sus formas) debe entenderse como una relación no excluyente (es decir, con posibles variables adicionales involucradas), el término un/uno debe entenderse como uno o más elementos (a menos que se indique expresamente lo contrario), y el término los medios para (o cualquier formulación de medios más función) deben entenderse como cualquier estructura adaptada o configurada para llevar a cabo la función pertinente.

Por ejemplo, una realización proporciona un procedimiento para controlar un generador fotovoltaico que comprende una pluralidad de módulos adaptados para contribuir a una potencia suministrada por el generador fotovoltaico. Sin embargo, el generador fotovoltaico puede ser de cualquier tipo (por ejemplo, para uso doméstico, industrial) y puede comprender módulos de cualquier tipo (por ejemplo, con celdas fotovoltaicas planas de alta concentración), en cualquier número y acoplado de cualquier manera; más generalmente, el procedimiento puede aplicarse a cualquier nivel (por ejemplo, generalmente para todo el generador fotovoltaico o individualmente para cada receptor del mismo).

En una realización, una operación del generador fotovoltaico se define por una característica de operación de un generador fotovoltaico modelo que tiene una pluralidad de módulos modelo. Sin embargo, el modelo de generador fotovoltaico puede ser de cualquier tipo (por ejemplo, siempre el generador fotovoltaico real, siempre el generador fotovoltaico ficticio o uno de ellos de forma selectiva).

En una realización, la característica de operación se divide en una pluralidad de intervalos para diferentes discrepancias de los módulos del modelo, con los intervalos que se ordenan de acuerdo con esto (en el que en cada intervalo los módulos del modelo tienen la discrepancia menor o igual a la discrepancia del el intervalo está activo y los otros módulos del modelo están inactivos). Sin embargo, las discrepancias pueden definirse de cualquier manera (por ejemplo, en términos absolutos o relativos) y los intervalos pueden estar en cualquier número y ordenados de cualquier manera.

En una realización, el procedimiento comprende determinar un intervalo de inicio; el intervalo de inicio es igual al primero de los intervalos o es igual al intervalo que tiene la discrepancia correspondiente a una discrepancia crítica absoluta del generador fotovoltaico. Sin embargo, el intervalo de inicio puede determinarse de cualquier manera (por ejemplo, siempre igual al primer intervalo, incluso si esto implica una degradación significativa del rendimiento, siempre igual al intervalo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta o selectivamente en ambos sentidos).

En una realización, la discrepancia crítica absoluta es la discrepancia de uno de los últimos intervalos con un solo intervalo precedente que hace que un pico de potencia del intervalo sea igual al pico de potencia del intervalo precedente. Sin embargo, la discrepancia crítica absoluta puede proporcionarse de cualquier manera (incluso estando predeterminado).

En una realización, el procedimiento comprende buscar un intervalo objetivo entre el intervalo de inicio y cada intervalo que sigue al intervalo de inicio. Sin embargo, el intervalo objetivo se puede buscar de cualquier manera (por ejemplo, con un algoritmo de búsqueda binario).

- 5 En una realización, el intervalo objetivo se busca de acuerdo con una comparación entre una diferencia relativa de discrepancia (entre la discrepancia del siguiente intervalo y la discrepancia del intervalo de inicio) y una discrepancia crítica relativa del generador fotovoltaico de orden igual a una distancia entre el siguiente intervalo y el intervalo de inicio. Sin embargo, la diferencia relativa de discrepancia puede definirse de cualquier manera (por ejemplo, con respecto a uno de los dos discrepancias o una combinación de los mismos) y puede compararse con la correspondiente discrepancia crítica relativa de cualquier manera (de acuerdo con su definición).
- 10 En una realización, la discrepancia crítica relativa es un aumento relativo de la discrepancia de cada intervalo que hace que el pico de potencia del intervalo sea igual al pico de potencia de un intervalo que sigue a este intervalo en la distancia desde el mismo igual al orden de la discrepancia crítica relativa. Sin embargo, la discrepancia crítica relativa puede proporcionarse de cualquier manera (incluso estando predeterminado).
- 15 En una realización, el procedimiento comprende rastrear el pico de potencia del intervalo objetivo controlando el generador fotovoltaico para que funcione en un punto de trabajo correspondiente al mismo. Sin embargo, el pico de potencia puede rastrearse de cualquier manera (por ejemplo, mediante una conductancia incremental, barrido de corriente, procedimiento de voltaje constante).
- 20 En una realización, el generador fotovoltaico modelo es el generador fotovoltaico y los módulos modelo son los módulos del generador fotovoltaico. Sin embargo, esta opción se puede utilizar en cualquier condición (por ejemplo, siempre o solo cuando el número de módulos está por debajo de cualquier valor de umbral).
- En una realización, el modelo de generador fotovoltaico es un generador fotovoltaico ficticio y los módulos modelo son módulos ficticios del generador fotovoltaico ficticio. Sin embargo, esta opción se puede utilizar en cualquier condición (por ejemplo, siempre o solo cuando el número de módulos excede cualquier valor de umbral).
- 25 En una realización, un número de módulos ficticios es inferior a un número de los módulos del generador fotovoltaico. Sin embargo, el número de módulos ficticios se puede elegir de cualquier manera (por ejemplo, un valor fijo o un porcentaje del número de módulos del generador fotovoltaico).
- 30 En una realización, dicho paso de determinar un intervalo de inicio comprende controlar el generador fotovoltaico para que funcione en el punto de trabajo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta. Sin embargo, el punto de trabajo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta se puede determinar de cualquier manera (de acuerdo con su definición) y el generador fotovoltaico se puede controlar de cualquier manera (por ejemplo, controlado por corriente o por voltaje).
- 35 En una realización, dicho paso de determinar un intervalo de inicio comprende determinar el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta de acuerdo con un modelo matemático del generador fotovoltaico. Sin embargo, el intervalo del punto de trabajo se puede determinar de acuerdo con cualquier modelo matemático (por ejemplo, en forma más o menos simplificada con los parámetros de modelado realmente medidos, predeterminados a los valores promedio o en cualquier combinación de los mismos).
- 40 En una realización, dicho paso de búsqueda de un intervalo objetivo comprende realizar un ciclo de búsqueda del intervalo objetivo. Sin embargo, esta operación puede evitarse cuando el intervalo de inicio es igual al último intervalo.
- 45 En una realización, el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo comprende determinar la discrepancia del intervalo de inicio. Sin embargo, la discrepancia del intervalo de inicio puede determinarse de cualquier manera (incluso con una búsqueda del mismo).
- En una realización, el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo comprende una iteración que se implementa al repetir las siguientes operaciones en sucesión para cada intervalo que sigue al intervalo de inicio. Sin embargo, el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo puede implementarse de cualquier manera (por ejemplo, de forma binaria).
- 50 En una realización, la iteración comprende verificar el siguiente intervalo de acuerdo con una comparación de la diferencia relativa de la discrepancia correspondiente con la discrepancia crítica relativa correspondiente. Sin embargo, la verificación se puede realizar de cualquier manera (incluso al determinar la discrepancia del siguiente intervalo).
- En una realización, la iteración comprende reiniciar el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo con el intervalo de inicio igual al siguiente intervalo en respuesta a que la diferencia relativa de la discrepancia correspondiente sea menor que la discrepancia crítica relativa correspondiente. Sin embargo, esta operación se puede realizar en respuesta a cualquier comparación entre la diferencia relativa de discrepancia y la correspondiente discrepancia crítica relativa (de acuerdo con su definición).

En una realización, la iteración se repite hasta que el siguiente intervalo alcance el último intervalo. Sin embargo, la iteración puede terminarse (sin reiniciar el ciclo de búsqueda) incluso cuando la diferencia relativa de la discrepancia es menor que la discrepancia crítica relativa con el siguiente intervalo igual al último intervalo.

5 En una realización, el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo comprende identificar el intervalo objetivo con el intervalo inicial. Sin embargo, el intervalo objetivo también se puede determinar directamente con el último intervalo si la diferencia relativa de discrepancia es menor que la discrepancia crítica relativa.

En una realización, dicho paso para determinar la discrepancia del intervalo de inicio comprende repetir un ciclo de búsqueda de una meseta. Sin embargo, el ciclo de búsqueda de la meseta se puede implementar de cualquier manera (por ejemplo, con un algoritmo de búsqueda binario).

10 En una realización, el ciclo de búsqueda de la meseta comprende mover el punto de trabajo mediante un paso de búsqueda de meseta en la dirección decreciente de las discrepancias. Sin embargo, el nivel de búsqueda de meseta puede tener cualquier valor (tanto en términos absolutos como relativos).

15 En una realización, el ciclo de búsqueda de la meseta comprende determinar el intervalo del punto de trabajo movido por el paso de búsqueda de la meseta de acuerdo con el modelo matemático del generador fotovoltaico. Sin embargo, el intervalo del punto de trabajo se puede determinar de acuerdo con cualquier modelo matemático (ver arriba).

20 En una realización, el ciclo de búsqueda de la meseta se repite hasta que el intervalo del punto de inicio movido por el paso de búsqueda de la meseta es diferente del intervalo de inicio o se alcanza un final de la característica de operación. Sin embargo, la condición de salida del ciclo de búsqueda de la meseta puede ser de cualquier tipo (de acuerdo con su lógica).

En una realización, dicho paso para determinar la discrepancia del intervalo de inicio comprende calcular la discrepancia del intervalo de inicio de acuerdo con un último punto de trabajo del intervalo de inicio en el ciclo de búsqueda de la meseta. Sin embargo, la discrepancia del intervalo de inicio puede determinarse de cualquier manera (por ejemplo, en base a un promedio de los dos últimos puntos de trabajo).

25 En una realización, cada repetición del ciclo de búsqueda de la meseta comprende guardar una indicación de un punto de búsqueda correspondiente al pico de potencia del intervalo de inicio de acuerdo con una comparación entre la potencia del punto de trabajo movido por el paso de búsqueda de meseta y la potencia del punto de búsqueda. Sin embargo, esta operación también se puede omitir (por ejemplo, realizando una búsqueda ad hoc a través del pico de potencia antes de comenzar su seguimiento).

30 En una realización, dicha etapa de seguimiento del pico de potencia del intervalo objetivo comprende inicializar el punto de trabajo al punto de búsqueda. Sin embargo, el punto de trabajo se puede inicializar de cualquier manera (incluso de manera arbitraria cuando el pico de potencia no se ha buscado de forma aproximada anteriormente).

35 En una realización, dicha etapa de seguimiento del pico de potencia del intervalo objetivo comprende mover el punto de trabajo en un paso de seguimiento de pico en una dirección de seguimiento de pico (con el paso de seguimiento de pico más bajo que el paso de búsqueda de meseta). Sin embargo, el paso de seguimiento de picos puede tener cualquier valor (en términos absolutos y relativos al paso de búsqueda de meseta).

40 En una realización, dicha etapa de seguimiento del pico de potencia del intervalo objetivo comprende invertir la dirección de seguimiento de pico de acuerdo con una comparación entre la potencia del punto de trabajo movido por el paso de seguimiento de pico y la potencia de una versión anterior del punto de trabajo. Sin embargo, la dirección de seguimiento de picos puede invertirse en respuesta a diferentes eventos (por ejemplo, solo después de que se cumpla esta condición para dos o más puntos de trabajo consecutivos).

45 En una realización, dicha verificación del siguiente intervalo comprende calcular una discrepancia de prueba aumentando la discrepancia del intervalo de inicio de acuerdo con la discrepancia crítica relativa correspondiente al siguiente intervalo. Sin embargo, la discrepancia de prueba se puede calcular de cualquier manera (de acuerdo con la definición de la discrepancia crítica relativa).

En una realización, dicha verificación del siguiente intervalo comprende controlar el generador fotovoltaico para que funcione en el punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba. Sin embargo, el generador fotovoltaico se puede controlar de cualquier manera (ver arriba).

50 En una realización, dicha verificación del siguiente intervalo comprende determinar el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba de acuerdo con el modelo matemático del generador fotovoltaico. Sin embargo, el intervalo del punto de trabajo se puede determinar de acuerdo con cualquier modelo matemático (ver arriba).

En una realización, dicha verificación del siguiente intervalo comprende verificar el siguiente intervalo de acuerdo con una comparación entre el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba y el

intervalo de inicio. Sin embargo, la comparación se puede realizar de cualquier manera (de acuerdo con la definición de la discrepancia crítica relativa).

5 En una realización, el procedimiento comprende calcular cada discrepancia crítica relativa de orden mayor que uno de acuerdo con la discrepancia crítica relativa de primer orden y un número de los módulos modelo. Sin embargo, se pueden usar diferentes fórmulas empíricas para este propósito (por ejemplo, dependiendo de las caídas de voltaje en los diodos de verificación); en cualquier caso, no se excluye la posibilidad de determinar realmente las discrepancias críticas relativas de todo orden.

10 En una realización, el procedimiento comprende verificar una condición de activación total basada en una variación en el tiempo de uno o más parámetros eléctricos de verificación del generador fotovoltaico y/o de uno o más parámetros ambientales de verificación relacionados con el generador fotovoltaico. Sin embargo, los parámetros eléctricos y los parámetros ambientales pueden ser de cualquier tipo y en cualquier número (incluso cero en una de las dos categorías).

15 En una realización, el procedimiento comprende activar dicha determinación de un intervalo de inicio y dicha búsqueda de un intervalo objetivo de acuerdo con la condición de activación total. Sin embargo, la condición de activación total puede determinarse de cualquier manera (por ejemplo, comparando las variaciones individualmente o en combinación entre sí con valores de umbral en cualquier número y de cualquier valor); en cualquier caso, nada impide realizar el procedimiento de búsqueda total del intervalo objetivo periódicamente de una manera incondicional.

20 En una realización, dicho paso de verificar una condición de activación total comprende verificar la condición de activación total basándose en la variación a lo largo del tiempo de los parámetros eléctricos de verificación con una frecuencia de verificación eléctrica. Sin embargo, la frecuencia de verificación eléctrica puede tener cualquier valor.

25 En una realización, dicho paso de verificar una condición de activación total comprende verificar la condición de activación total en función de la variación a lo largo del tiempo de los parámetros ambientales de verificación con una frecuencia de verificación ambiental inferior a la frecuencia de verificación eléctrica. Sin embargo, la frecuencia de verificación ambiental puede tener cualquier valor (en términos absolutos y relativos a la frecuencia de verificación eléctrica).

30 En una realización, el procedimiento comprende activar dicha búsqueda periódicamente en un intervalo objetivo con el intervalo inicial establecido igual al intervalo objetivo. Sin embargo, esta operación puede realizarse con cualquier período o incluso puede omitirse por completo (por ejemplo, cuando el procedimiento de búsqueda total del intervalo objetivo se realiza periódicamente).

35 En una realización, el procedimiento comprende medir al menos una cantidad eléctrica del generador fotovoltaico en una o más condiciones límite para la determinación del intervalo de inicio y la búsqueda del intervalo objetivo. Sin embargo, las cantidades eléctricas medidas pueden ser de cualquier tipo y en cualquier número, en relación con las condiciones límite de cualquier tipo y número (por ejemplo, corriente de cortocircuito, voltaje de circuito abierto o valores diferentes, adicionales o alternativos).

40 En una realización, el procedimiento comprende estimar una temperatura de unión del generador fotovoltaico de acuerdo con dicha al menos una cantidad eléctrica del generador fotovoltaico en las condiciones límite. Sin embargo, la temperatura de la unión puede estimarse con cualquier fórmula (basada en cualquier cantidad de tales cantidades eléctricas) y su valor puede usarse para cualquier propósito (por ejemplo, para enviar una alarma automáticamente en función de su variación), o esta operación se puede omitir completamente en una implementación simplificada.

45 En una realización, dicho paso de medir al menos una cantidad eléctrica comprende controlar un primer interruptor para cortocircuitar el generador fotovoltaico acoplado en serie con un medidor de corriente, controlar un segundo interruptor para aislar el generador fotovoltaico acoplado en serie con el medidor de corriente de un bloque de acumulación de energía eléctrica suministrada por el generador fotovoltaico y que mide una corriente de cortocircuito por medio del medidor de corriente. Sin embargo, el circuito de medición puede implementarse de cualquier manera (por ejemplo, con el segundo interruptor en serie con el medidor de corriente) para operar con cualquier bloque de acumulación (por ejemplo, un capacitor o un inductor); de manera más general, la posibilidad de interrumpir el funcionamiento del generador fotovoltaico para realizar esta medición no se excluye en una implementación menos eficiente.

50 En una realización, dicho paso de medir al menos una cantidad eléctrica comprende controlar el primer interruptor y el segundo interruptor para aislar el generador fotovoltaico acoplado en paralelo con un medidor de voltaje del bloque de acumulación y medir un voltaje de circuito abierto por medio del medidor de voltaje. Sin embargo, el circuito de medición se puede implementar de cualquier manera (ver arriba).

55 En una realización, el procedimiento comprende medir una corriente de trabajo y/o un voltaje de trabajo del generador fotovoltaico controlando el primer interruptor y el segundo interruptor para acoplar el generador fotovoltaico, acoplado en serie con el medidor de corriente y acoplado en paralelo con el medidor de voltaje, con el

bloque de acumulación y medición de la corriente de trabajo y el voltaje de trabajo mediante el medidor de corriente y el medidor de tensión, respectivamente. Sin embargo, es posible medir ambas cantidades o solo una de ellas (suponiendo que la otra sea igual a su valor establecido).

5 En una realización, dicha etapa de seguimiento del pico de potencia del intervalo objetivo comprende medir al menos un parámetro ambiental de rendimiento del generador fotovoltaico en respuesta a un bloqueo del pico de potencia. Sin embargo, los parámetros ambientales de rendimiento pueden ser de cualquier tipo y en cualquier número y el bloqueo del pico de potencia puede determinarse de cualquier manera (por ejemplo, en función de una variación en el tiempo del punto de trabajo); en cualquier caso, los parámetros ambientales también pueden medirse en otros momentos (por ejemplo, periódicamente).

10 En una realización, dicha etapa de seguimiento del pico de potencia del intervalo objetivo comprende calcular al menos un indicador de rendimiento en condiciones estándar del generador fotovoltaico de acuerdo con el pico de potencia, la temperatura de unión y dicho al menos un parámetro ambiental de rendimiento. Sin embargo, los indicadores de rendimiento pueden ser de cualquier tipo (referidos a cualquier condición estándar) y en cualquier número, pueden calcularse con fórmulas de cualquier tipo y usarse para cualquier propósito (por ejemplo, para enviar una alarma automáticamente según su variación); en cualquier caso, esta característica se puede omitir completamente en una implementación simplificada.

15 En una realización, el procedimiento comprende determinar al menos una característica de oscuridad del generador fotovoltaico representativo de una operación del mismo en una condición de oscuridad. Sin embargo, las características de oscuridad pueden determinarse en cualquier número y en cualquier momento (por ejemplo, periódicamente).

En una realización, el procedimiento comprende calcular uno o más parámetros de modelado del modelo matemático del generador fotovoltaico de acuerdo con dicha al menos una característica de oscuridad. Sin embargo, los parámetros de modelado (en cualquier número y de cualquier tipo) pueden calcularse a partir de cualquier número de características de oscuridad con fórmulas de cualquier tipo (por ejemplo, de acuerdo con su promedio).

25 En una realización, dicha al menos una característica de oscuridad es una pluralidad de características de oscuridad para diferentes temperaturas del generador fotovoltaico. Sin embargo, las características de oscuridad pueden asociarse con cualquier valor de la temperatura del generador fotovoltaico (incluso no distribuido uniformemente).

30 En una realización, el procedimiento comprende calcular un valor de referencia de la temperatura de la unión para su cálculo de acuerdo con las características de oscuridad. Sin embargo, el valor de referencia de la temperatura de la unión se puede calcular de cualquier manera de acuerdo con cualquier número de características de oscuridad (por ejemplo, si todas las partes o solo una parte de ellas se submuestra).

35 En una realización, el procedimiento comprende determinar una característica ideal del generador fotovoltaico representativo de una operación del mismo sin discrepancia con dicha al menos una característica de oscuridad. Sin embargo, la característica ideal puede determinarse de cualquier manera a partir de cualquier número de características de oscuridad.

En una realización, el procedimiento comprende calcular el pico de potencia de los módulos sin discrepancia. Sin embargo, el pico de potencia puede determinarse de otra manera (por ejemplo, mediante una búsqueda de los mismos); en cualquier caso, nada impide que se repita esta operación durante el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta.

40 En una realización, el procedimiento comprende repetir un ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta. Sin embargo, la discrepancia crítica absoluta se puede determinar de otra manera (por ejemplo, actuando en un módulo diferente, analíticamente); en particular, la discrepancia crítica absoluta también puede determinarse de acuerdo con la composición del espectro solar, ya sea medido en el momento por medio de un sensor correspondiente o estimado de acuerdo con el día del año y la hora.

45 En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta comprende modificar la característica ideal de acuerdo con un incremento de la discrepancia de uno de los últimos módulos. Sin embargo, la discrepancia del último módulo puede incrementarse en cualquier valor (incluso no constante).

50 En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta comprende calcular el pico de potencia del último módulo a partir de la característica ideal modificada de acuerdo con el aumento del último módulo. Sin embargo, el pico de potencia puede determinarse de otra manera (ver arriba).

En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta se repite hasta que el pico de potencia del último módulo alcanza el pico de potencia de los módulos sin discrepancia. Sin embargo, esta condición se puede verificar de cualquier manera (de acuerdo con la definición de la discrepancia crítica absoluta).

55 En una realización, el procedimiento comprende establecer la discrepancia crítica absoluta según la discrepancia del último módulo en la salida del ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta. Sin embargo, la discrepancia

crítica absoluta puede determinarse de cualquier manera (por ejemplo, en base a un promedio de las dos últimas discrepancias del último intervalo).

5 En una realización, el procedimiento comprende modificar la característica ideal de acuerdo con una discrepancia arbitrario del último módulo. Sin embargo, la discrepancia puede tener cualquier valor arbitrario (por ejemplo, igual al de la salida del ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica absoluta).

10 En una realización, el procedimiento comprende repetir un ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden. Sin embargo, la discrepancia crítica relativa de primer orden se puede determinar de otra manera (por ejemplo, actuando en diferentes módulos, analíticamente); en particular, la discrepancia crítica relativa de primer orden también puede determinarse de acuerdo con la composición del espectro solar (como el anterior, ambos medidos en el momento o estimados de acuerdo con el día del año y la hora). En cualquier caso, el mismo procedimiento también se puede utilizar para determinar la discrepancia crítica relativa de cualquier orden.

En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden comprende actualizar la característica ideal de acuerdo con un aumento de la discrepancia de una penúltima de los módulos. Sin embargo, la discrepancia del penúltimo módulo puede incrementarse en cualquier valor (tampoco es constante).

15 En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden comprende calcular el pico de potencia del penúltimo módulo y el pico de potencia del último módulo a partir de la característica ideal modificada de acuerdo con el aumento del penúltimo módulo. Sin embargo, estos picos de potencia pueden determinarse de cualquier manera (ver arriba); en cualquier caso, también es posible calcular el pico de potencia del último módulo solo una vez antes de realizar el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden (ya que su variación es insignificante en la práctica).

20 En una realización, el ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden se repite hasta que el pico de potencia del penúltimo módulo alcanza el pico de potencia del último módulo. Sin embargo, esta condición se puede verificar de cualquier manera (de acuerdo con la definición de la discrepancia crítica relativa).

25 En una realización, el procedimiento comprende calcular la discrepancia crítica relativa de primer orden de acuerdo con la discrepancia del penúltimo módulo y la discrepancia del último módulo a la salida del ciclo de búsqueda de la discrepancia crítica relativa de primer orden. Sin embargo, la discrepancia crítica relativa se puede determinar de cualquier manera (por ejemplo, en base a un promedio de las dos últimas discrepancias del penúltimo intervalo).

30 En general, se aplican consideraciones similares si la misma solución se implementa con un procedimiento equivalente (mediante el uso de pasos similares con las mismas funciones de más pasos o partes de los mismos, eliminando algunos pasos que no son esenciales, o agregando pasos opcionales adicionales); además, las etapas se pueden realizar en un orden diferente, de forma concurrente o intercalada (al menos en parte).

35 Una realización proporciona un programa de software configurado para hacer que un sistema informático realice el procedimiento descrito anteriormente cuando el programa de software se ejecuta en el sistema informático. Una realización proporciona un producto de programa de software que comprende un medio de almacenamiento legible por ordenador que incorpora un programa de software, el programa de software puede cargarse en una memoria de trabajo de un sistema informático, configurando así el sistema informático para realizar el mismo procedimiento. Sin embargo, el programa de software puede implementarse como un módulo independiente, como un complemento para un programa de software preexistente (por ejemplo, un programa de control del inversor), o incluso directamente en este último. En cualquier caso, se aplican consideraciones similares si el programa está estructurado de una manera diferente; además, el programa puede proporcionarse en cualquier forma (por ejemplo, software externo o residente, firmware o microcódigo, ya sea en código objeto o en código fuente, por ejemplo, para compilar o interpretar) y en cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador (tangibles) que puede retener y almacenar instrucciones para su uso por parte del sistema informático. En cualquier caso, la solución de acuerdo con una realización de la presente divulgación se presta para ser implementada incluso con una estructura de hardware (por ejemplo, formada por circuitos electrónicos integrados en uno o más chips de material semiconductor), o con una combinación de software y Hardware adecuadamente programado o configurado de otra manera.

45 Una realización proporciona un sistema de control de un generador fotovoltaico que comprende medios configurados para realizar las etapas del procedimiento descrito anteriormente. Sin embargo, estos medios pueden implementarse de cualquier manera (por ejemplo, a través de un controlador dedicado).

50 Una realización proporciona un dispositivo de interfaz para interconectar un generador fotovoltaico con una carga del mismo, en el que el dispositivo de interfaz comprende dicho sistema de control para controlar el generador fotovoltaico. Sin embargo, el dispositivo de interfaz puede ser de cualquier tipo (por ejemplo, un convertidor DC-AC o DC-DC) para cualquier carga (por ejemplo, una red eléctrica, un acumulador, uno o más consumidores de electricidad); en cualquier caso, el sistema de control también puede implementarse fuera del dispositivo de interfaz o incluso en su ausencia.

En una realización, el dispositivo de interfaz es un inversor para convertir la energía eléctrica directa suministrada por el generador fotovoltaico en energía eléctrica alterna para ser suministrada a la carga. Sin embargo, el inversor puede ser de cualquier tipo (por ejemplo, con un PLL para bloquear el voltaje de la red, con un amplificador para ampliar su intervalo de operación).

- 5 Una realización proporciona un sistema fotovoltaico que comprende un generador fotovoltaico y un sistema de control de este tipo para controlar el generador fotovoltaico. Una realización proporciona un sistema fotovoltaico que comprende un generador fotovoltaico y un dispositivo de interfaz para interconectar el generador fotovoltaico con una carga del mismo. Sin embargo, el sistema fotovoltaico puede ser de cualquier tipo (por ejemplo, instalado en una casa, una fábrica).
- 10 En general, se aplican consideraciones similares si el sistema de control, el dispositivo de interfaz y el sistema fotovoltaico tienen cada uno una estructura diferente o comprenden componentes equivalentes (por ejemplo, de diferentes materiales), o tiene otras características operativas. En cualquier caso, cada componente del mismo se puede separar en más elementos, o dos o más componentes se pueden combinar juntos en un solo elemento; además, cada componente puede replicarse para soportar la ejecución de las operaciones correspondientes en paralelo. Además, a menos que se especifique lo contrario, cualquier interacción entre diferentes componentes generalmente no necesita ser continua, y puede ser directa o indirecta a través de uno o más intermediarios.
- 15

**REIVINDICACIONES**

5 1. Un procedimiento (600,700) para controlar un generador (105) fotovoltaico que comprende una pluralidad de módulos (110) adaptados para contribuir a una potencia suministrada por el generador (105) fotovoltaico, estando una operación del generador (105) fotovoltaico definida por una característica de operación,

**caracterizado porque**

10 la característica de operación se divide en una pluralidad de intervalos asociados con diferentes discrepancias de los módulos, con los intervalos clasificados por un índice en orden creciente de discrepancias, siendo definido cada intervalo por un intervalo de voltaje, en el que los módulos que tienen una discrepancia menor o igual a la discrepancia del intervalo están activos y los otros módulos están inactivos, en el que el procedimiento (600) comprende:

15 determinar (624-632) un intervalo de inicio igual a uno primero de los intervalos o al intervalo correspondiente a una discrepancia crítica absoluta del generador (105) fotovoltaico, definiéndose la discrepancia crítica absoluta como la discrepancia del último intervalo haciendo un pico de potencia de dicho último intervalo igual al pico de potencia del intervalo que precede a dicho último intervalo cuando la característica de operación consiste en dos intervalos;

20 buscar (636-670) un intervalo objetivo entre el intervalo inicial y uno cualquiera de los intervalos que siguen al intervalo inicial, para cada uno de los siguientes intervalos se busca el intervalo objetivo de acuerdo con una comparación entre una diferencia relativa de discrepancia, siendo la diferencia relativa de discrepancia una diferencia relativa entre la discrepancia del intervalo siguiente y la discrepancia del intervalo inicial, y una discrepancia crítica relativa del generador (105) fotovoltaico de orden igual a una diferencia entre el índice del siguiente intervalo y el índice del intervalo inicial, definiéndose la discrepancia crítica relativa como una diferencia relativa entre la discrepancia de uno primero de los intervalos y la discrepancia de uno segundo de los intervalos haciendo que el pico de potencia del segundo intervalo sea igual al pico de potencia del primer intervalo con una diferencia entre el índice del segundo intervalo y el índice del primer intervalo igual al orden de la discrepancia crítica relativa ; y

rastrear (674-688) el pico de potencia del intervalo objetivo controlando el generador (105) fotovoltaico para operar en un punto de trabajo correspondiente al mismo.

30 2. El procedimiento (600,700) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha determinación (624-632) de un intervalo de inicio comprende:

controlar (628) el generador fotovoltaico para que funcione en el punto de trabajo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta, y

determinar (630-632) el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia crítica absoluta de acuerdo con un modelo matemático del generador fotovoltaico.

35 3. El procedimiento (600, 700) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el modelo matemático representa un generador fotovoltaico ficticio con una serie de módulos ficticios más bajos que una serie de módulos del generador fotovoltaico y que tienen la misma característica de operación que el generador fotovoltaico.

4. El procedimiento (600,700) de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que dicha búsqueda (636-670) de un intervalo objetivo comprende realizar un ciclo de búsqueda del intervalo objetivo que comprende:

40 determinar (636-648) la discrepancia del intervalo de inicio,

repetir (650-668) en sucesión para cada uno de los siguientes intervalos:

verificar (652-666) el siguiente intervalo de acuerdo con una comparación de la diferencia relativa de discrepancia correspondiente con la discrepancia crítica relativa correspondiente, y

45 reiniciar (668) el ciclo de búsqueda del intervalo objetivo con el intervalo de inicio igual al siguiente intervalo en respuesta a que la diferencia relativa de la discrepancia correspondiente sea menor que la discrepancia crítica relativa correspondiente,

hasta que el siguiente intervalo alcance el último intervalo (650), e

identificar (670) el intervalo objetivo con el intervalo inicial.

50 5. El procedimiento (600, 700) de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicha determinación (636-648) de la discrepancia del intervalo de inicio comprende:

repetir (636-646) un ciclo de búsqueda de una meseta que comprende:

mover (636) el punto de trabajo por un paso de búsqueda de meseta en la dirección decreciente de las discrepancias,

5 determinar (638-644) el intervalo del punto de trabajo movido por el paso de búsqueda de meseta de acuerdo con el modelo matemático del generador fotovoltaico,

hasta que (646) el intervalo del punto de inicio movido por el paso de búsqueda de meseta es diferente del intervalo de inicio o se alcanza el final de la característica de operación, y

calcular (648) la discrepancia del intervalo de inicio de acuerdo con un último punto de trabajo del intervalo de inicio en el ciclo de búsqueda de la meseta.

10 6. El procedimiento (600,700) de acuerdo con la reivindicación 5, en el que cada repetición del ciclo de búsqueda de la meseta (636-646) comprende:

guardar (640-642) una indicación de un punto de búsqueda correspondiente al pico de potencia del intervalo de inicio de acuerdo con una comparación entre la potencia del punto de trabajo movido por el paso de búsqueda de meseta y la potencia del punto de búsqueda, y en el que dicho seguimiento (674-688) del pico de potencia del intervalo objetivo comprende:

15

Inicializar (674) el punto de trabajo al punto de búsqueda.

7. El procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 4 a 6, en el que dicha verificación (652-666) del siguiente intervalo comprende:

20 calcular (652-654) una discrepancia de prueba aumentando la discrepancia del intervalo de inicio de acuerdo con la discrepancia crítica relativa correspondiente al siguiente intervalo,

controlar (656) el generador fotovoltaico para trabajar en el punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba,

determinar (658-660) el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba de acuerdo con el modelo matemático del generador fotovoltaico, y

25 verificar (662) el siguiente intervalo de acuerdo con una comparación entre el intervalo del punto de trabajo correspondiente a la discrepancia de prueba y el intervalo de inicio.

8. El procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 7, que comprende:

calcular (652) cada discrepancia crítica relativa de orden superior a uno de acuerdo con la discrepancia crítica relativa de primer orden y un número de los módulos.

30 9. El procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 8, que comprende:

verificar (602-616) una condición de activación total basada en una variación en el tiempo de uno o más parámetros eléctricos de verificación del generador fotovoltaico y/o de uno o más parámetros ambientales de verificación relacionados con el generador fotovoltaico,

35 activar (608-616) dicha determinación (624-632) de un intervalo de inicio y dicha búsqueda (636-670) de un intervalo objetivo de acuerdo con la condición de activación total, y

activar (634) dicha búsqueda (636-670) de un intervalo objetivo periódicamente con el intervalo inicial establecido igual al intervalo objetivo.

10. El procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 9, que comprende:

40 medir (624) al menos una cantidad eléctrica del generador fotovoltaico en una o más condiciones límite para la determinación del intervalo de inicio y la búsqueda del intervalo objetivo,

estimar (626) una temperatura de unión del generador fotovoltaico de acuerdo con dicha al menos una cantidad eléctrica del generador fotovoltaico en las condiciones límite,

medir (686) al menos un parámetro ambiental de rendimiento del generador fotovoltaico en respuesta a un bloqueo del pico de potencia, y

45 calcular (688) al menos un indicador de rendimiento en condiciones estándar del generador fotovoltaico de acuerdo con el pico de potencia, la temperatura de unión y dicho al menos un parámetro ambiental de rendimiento.

11. El procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 2 a 10, que comprende:
- determinar (712) al menos una oscuridad característica del generador fotovoltaico representativa de una operación del mismo en una condición de oscuridad, y
  - 5 calcular (715) uno o más parámetros de modelado del modelo matemático del generador fotovoltaico de acuerdo con dicha al menos una característica de oscuridad.
12. Un programa (400) de software configurado para hacer que un sistema (145) informático realice el procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 11 cuando el programa (400) informático se ejecuta en el sistema (145) informático.
- 10 13. Un sistema (145) de control de un generador (105) fotovoltaico que comprende medios (400) configurados para realizar las etapas del procedimiento (600,700) de acuerdo con cualquier reivindicación de 1 a 11.
14. Un dispositivo (125) de interfaz para interconectar un generador (105) fotovoltaico con una carga del mismo, en el que el dispositivo (125) de interfaz comprende el sistema (145) de control de la reivindicación 13 para controlar el generador (105) fotovoltaico.
- 15 15. Un sistema (100) fotovoltaico que comprende un generador (105) fotovoltaico y el sistema (145) de control de acuerdo con la reivindicación 13 para controlar el generador (105) fotovoltaico.

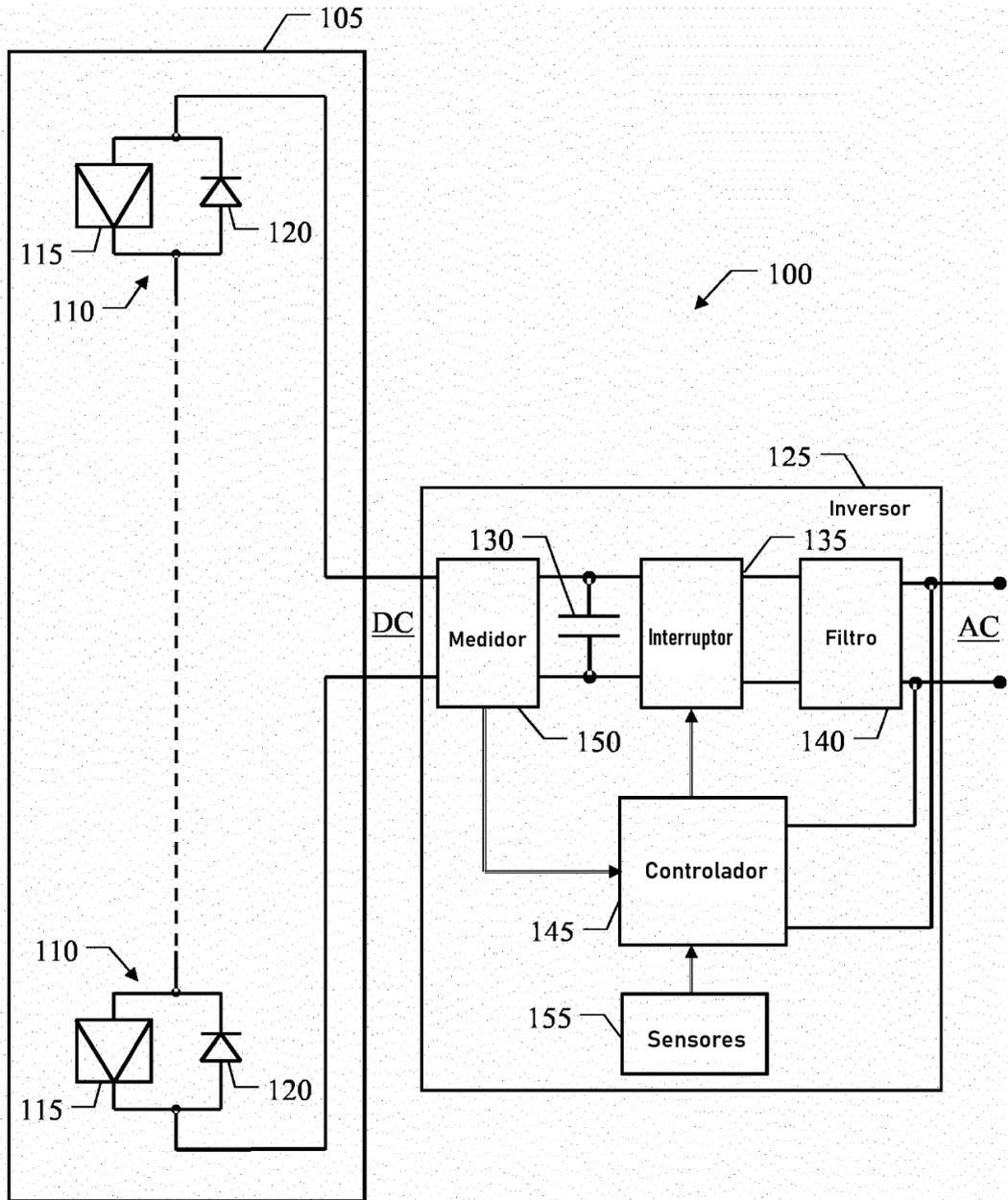


FIG.1

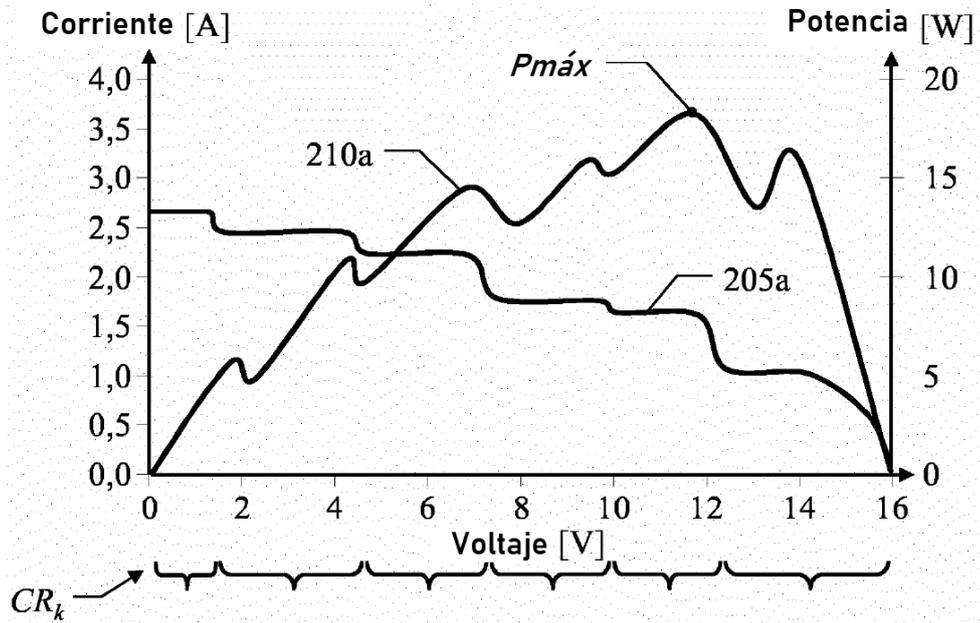


FIG.2A

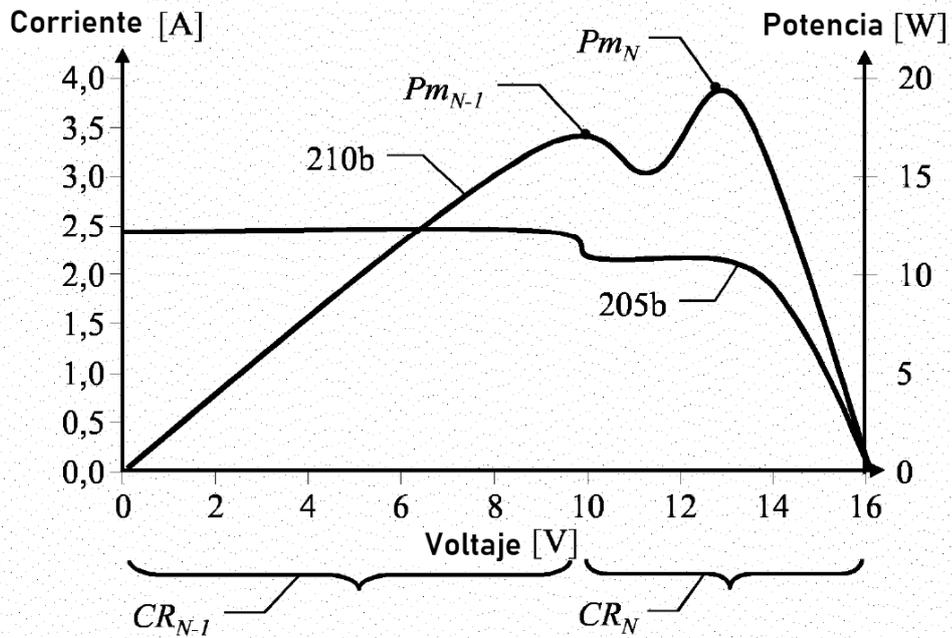


FIG.2B

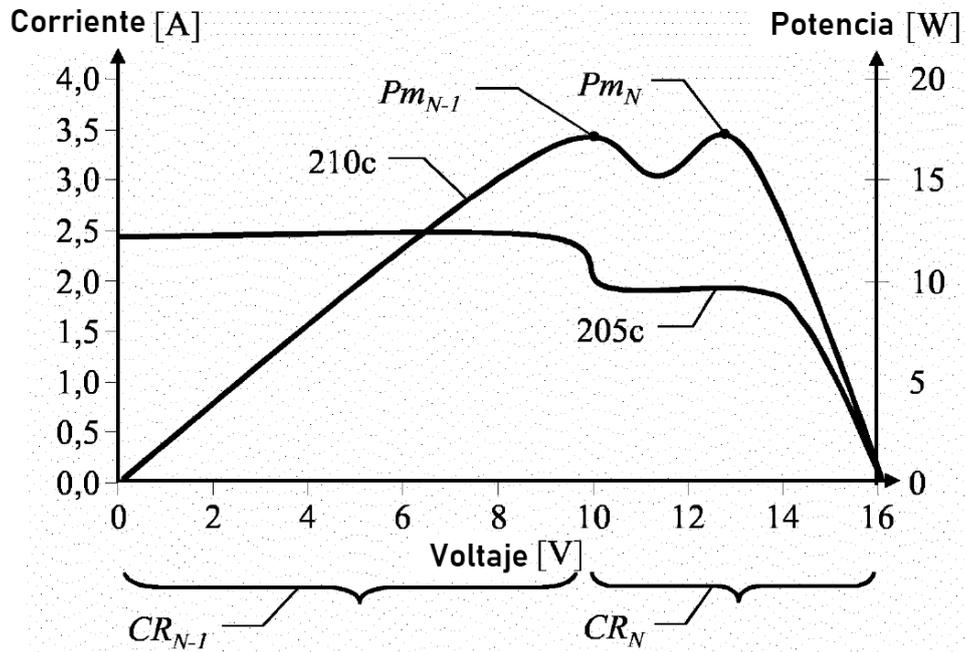


FIG.2C

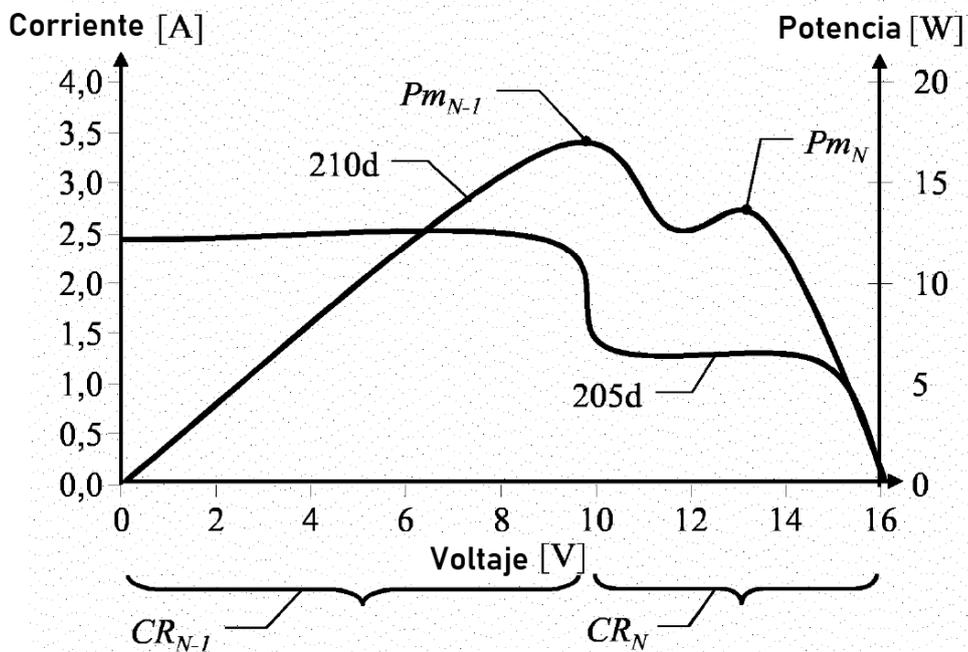


FIG.2D

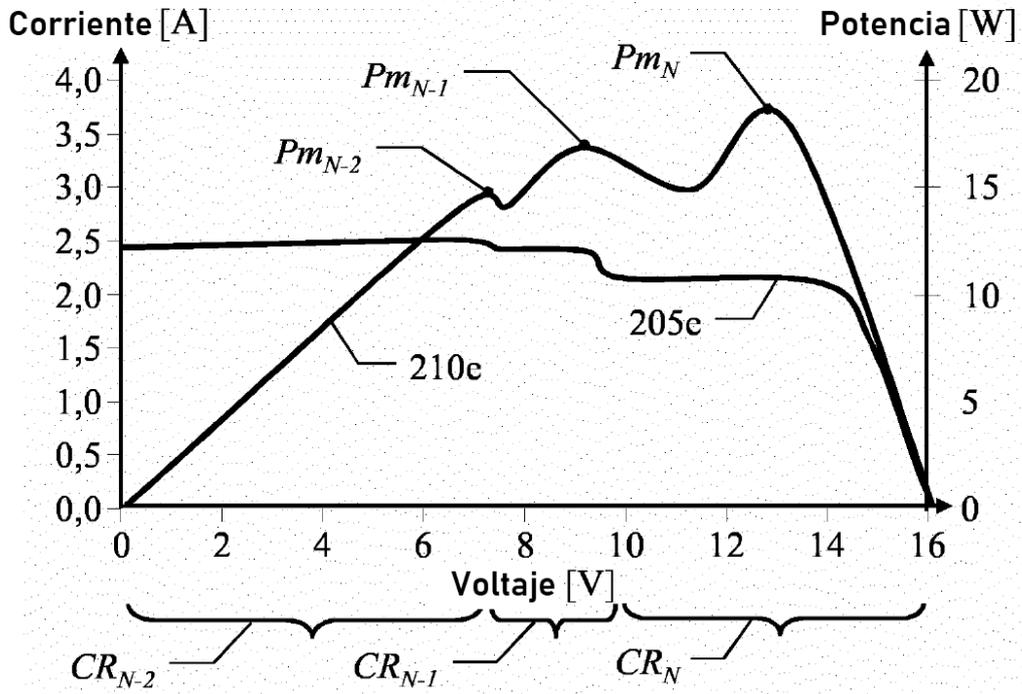


FIG.2E

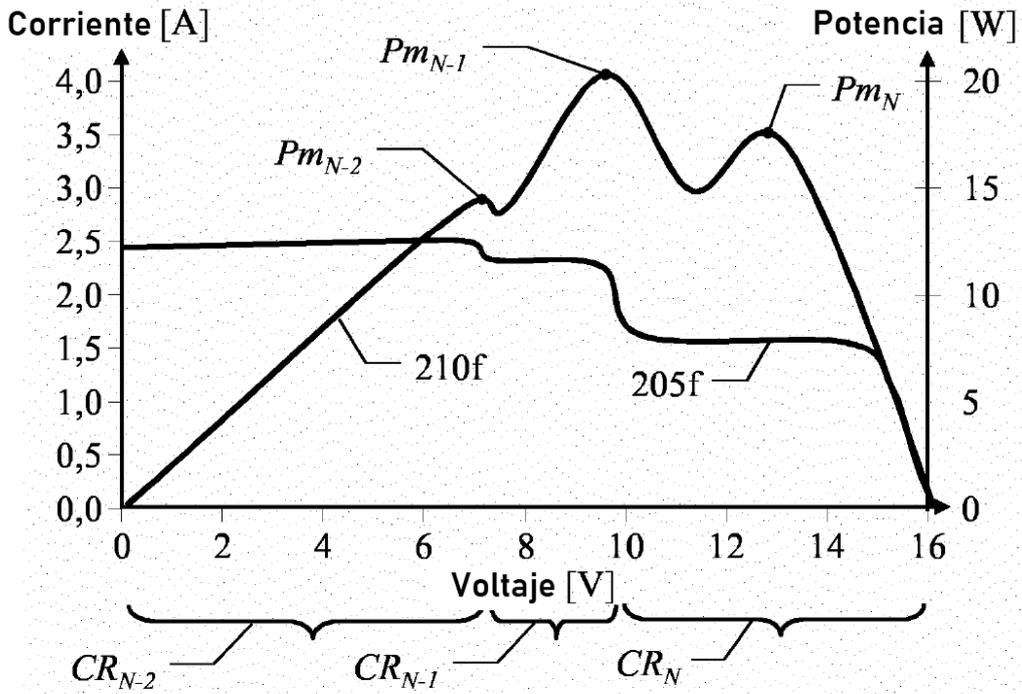


FIG.2F

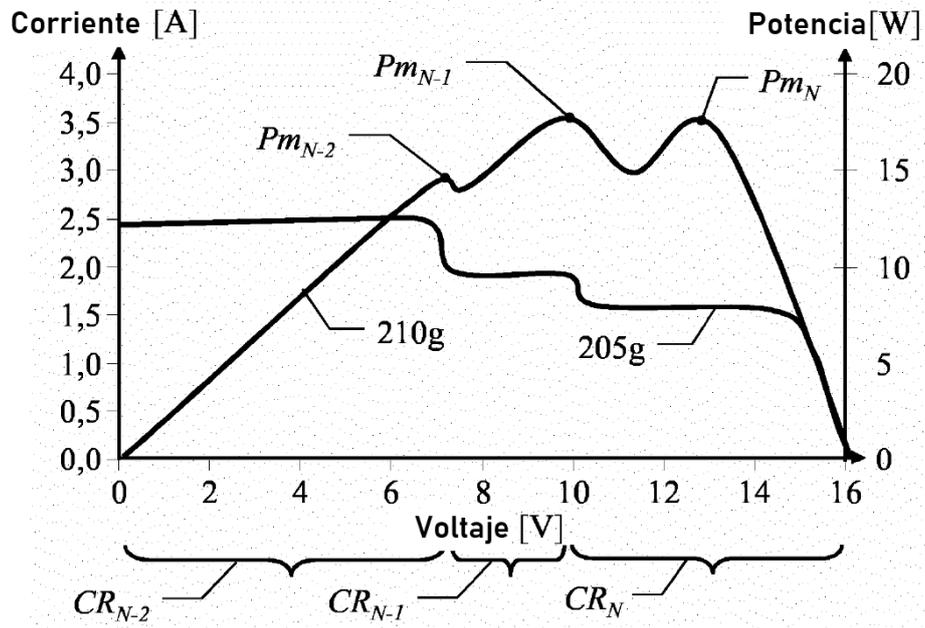


FIG.2G

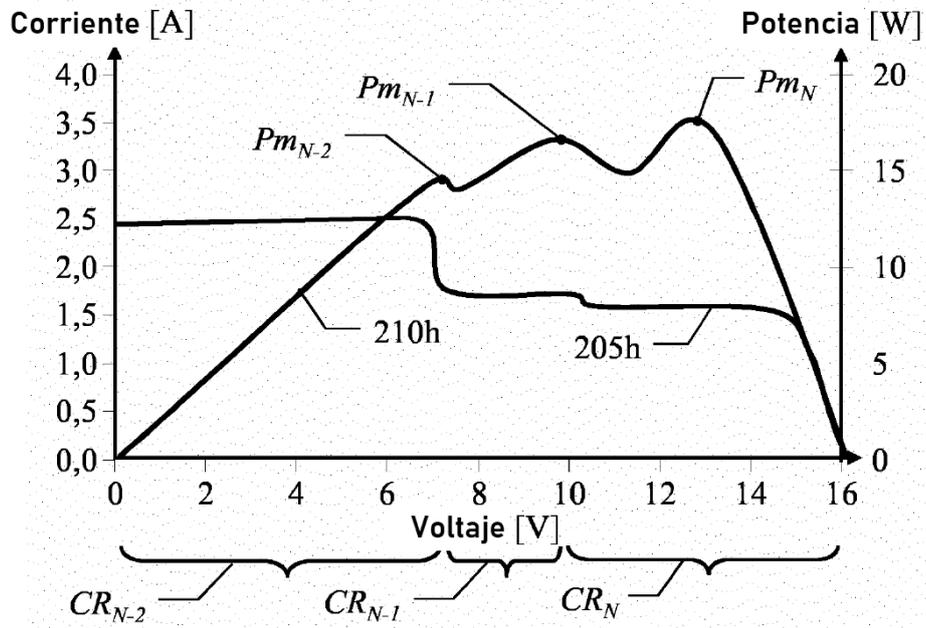


FIG.2H

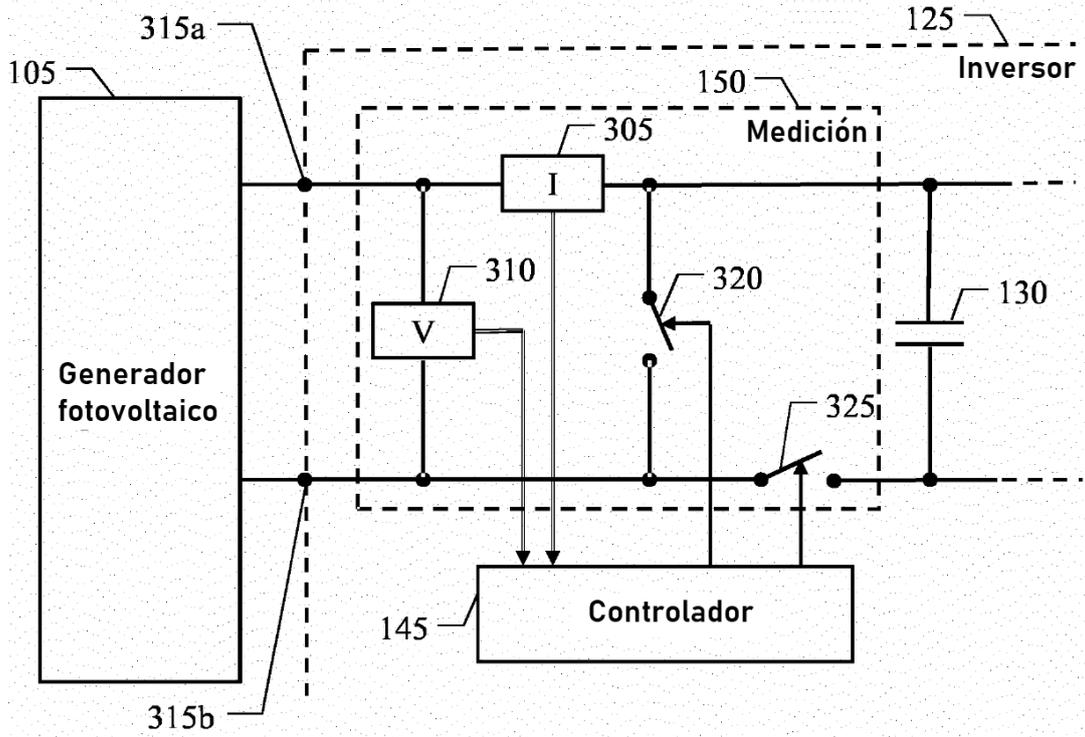


FIG.3

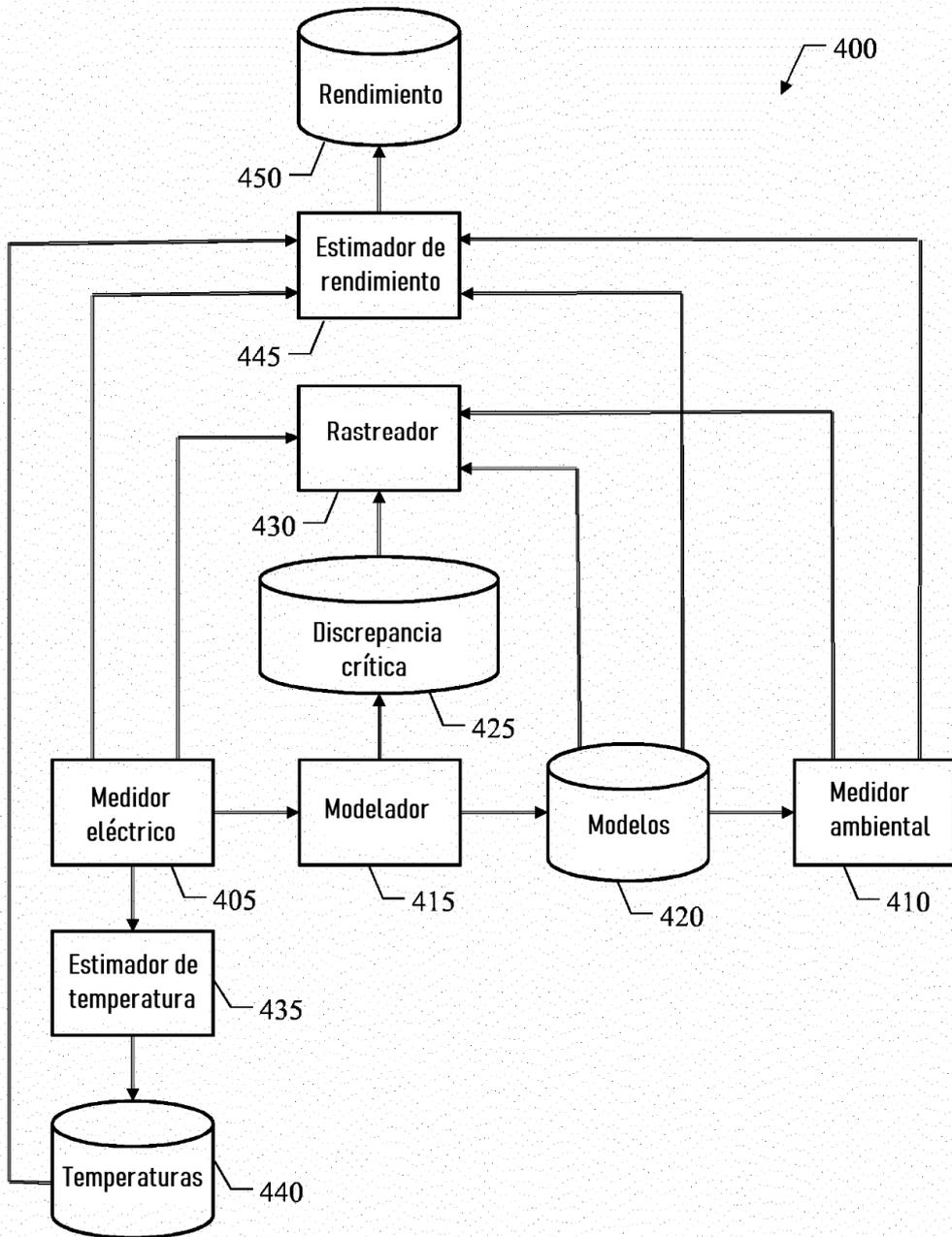


FIG.4

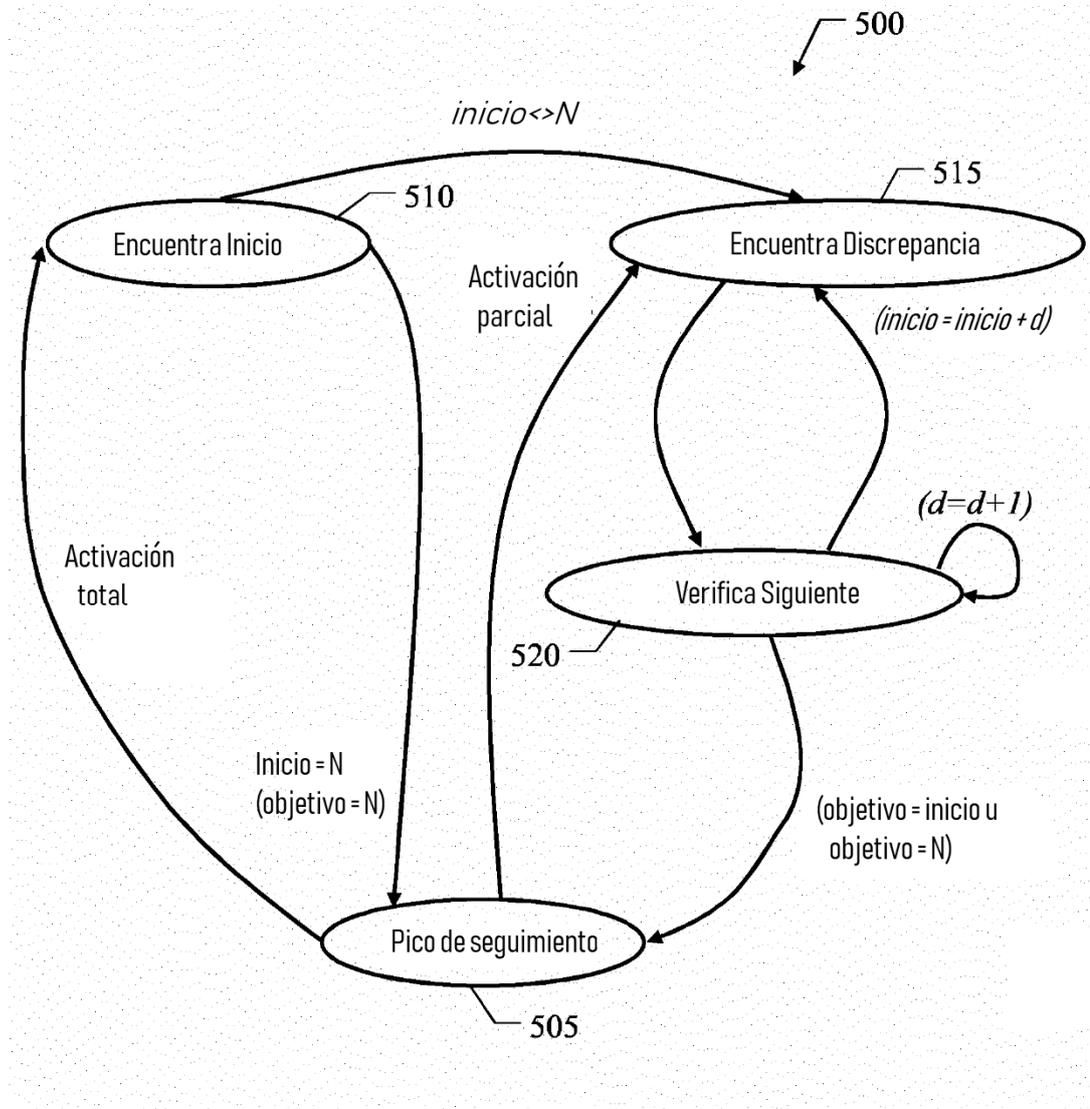


FIG.5

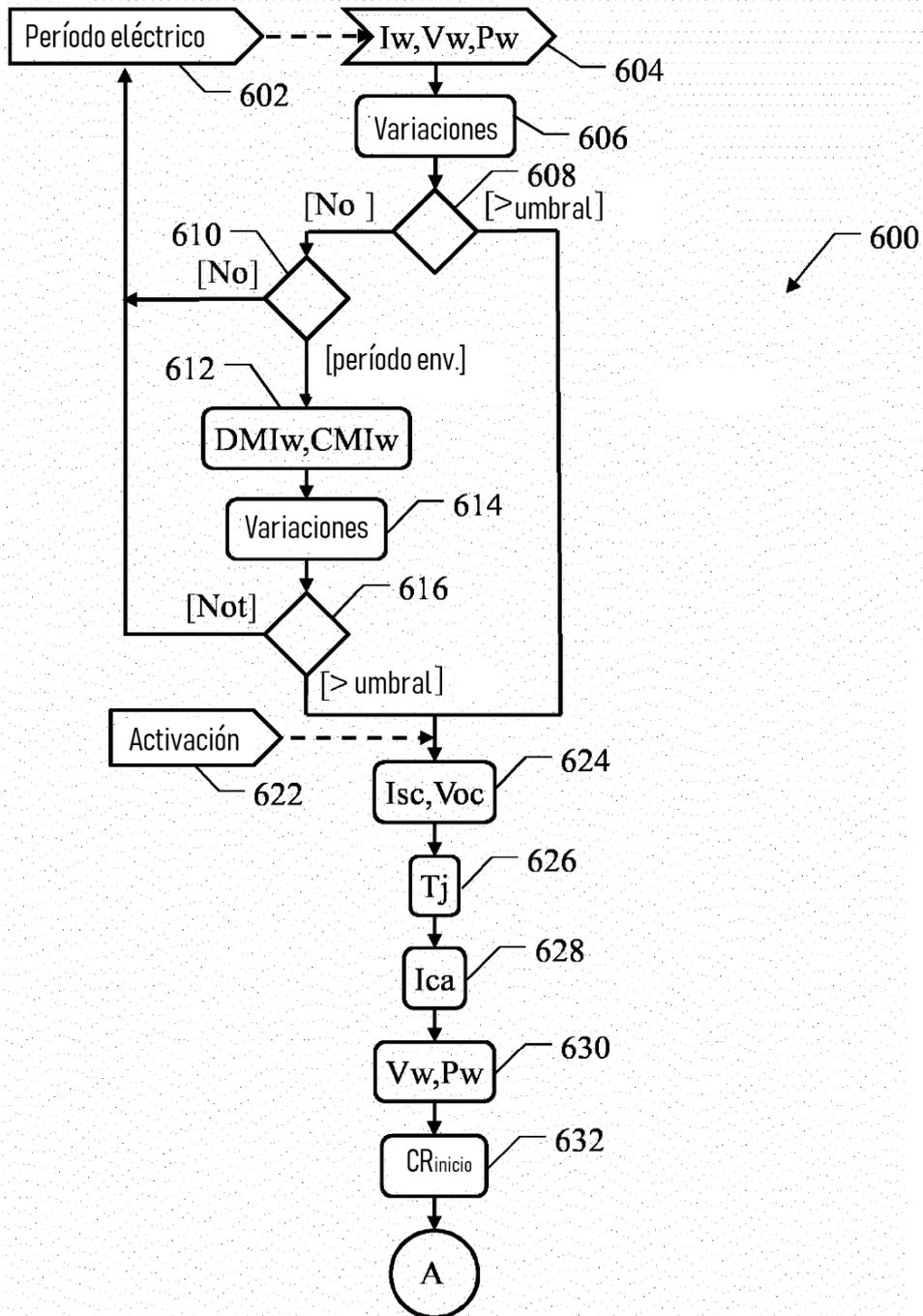


FIG.6A

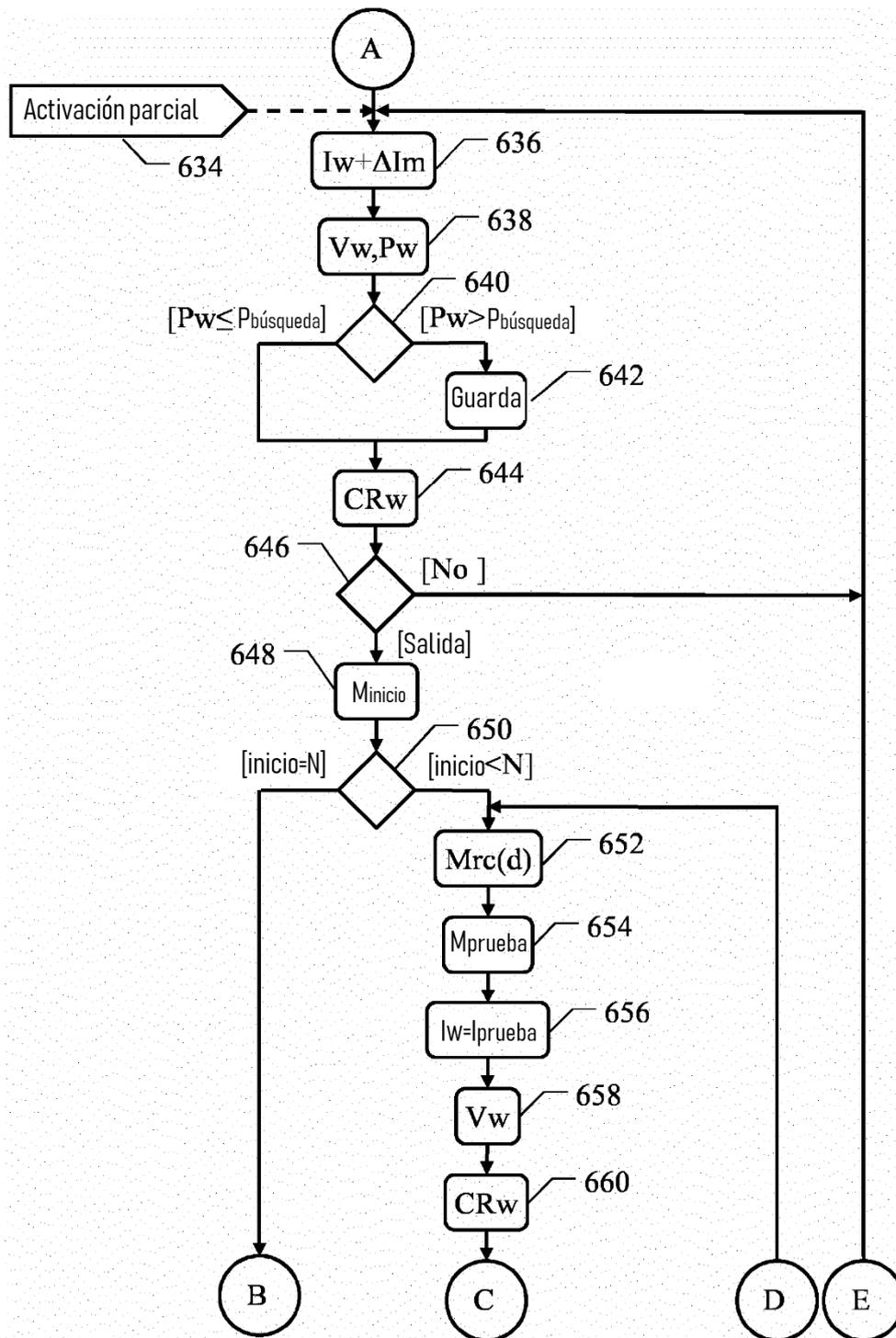


FIG.6B

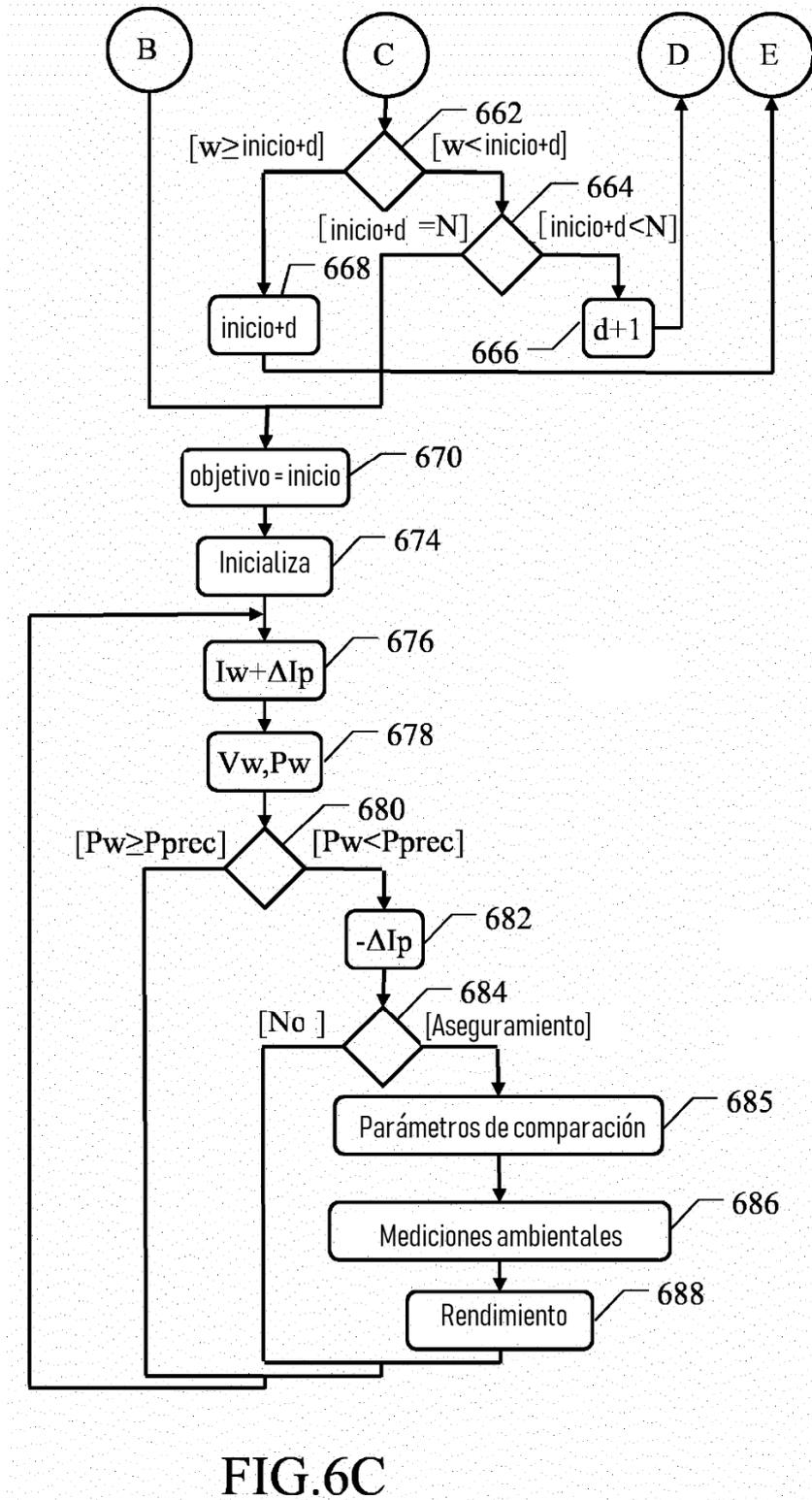
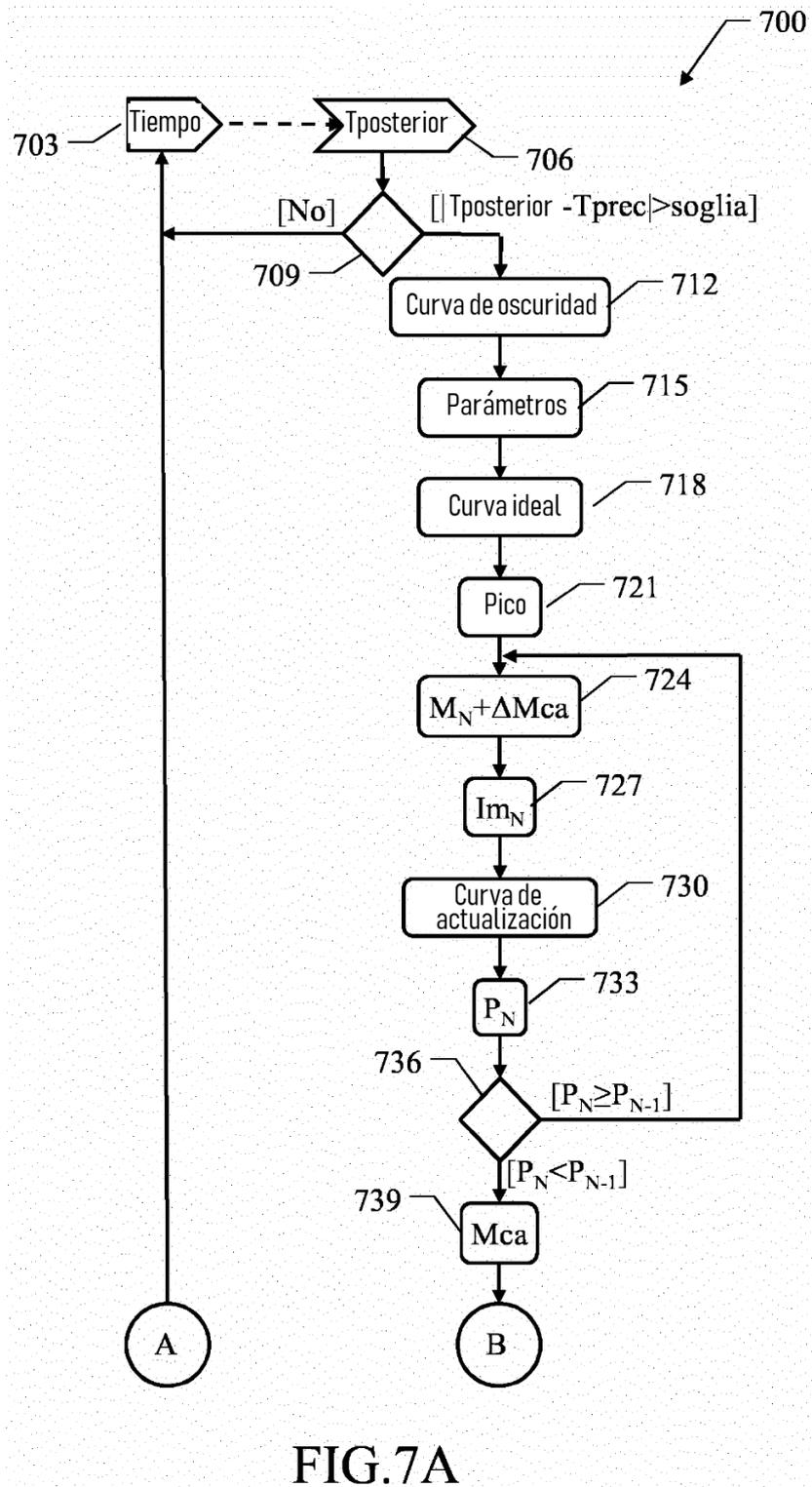


FIG.6C



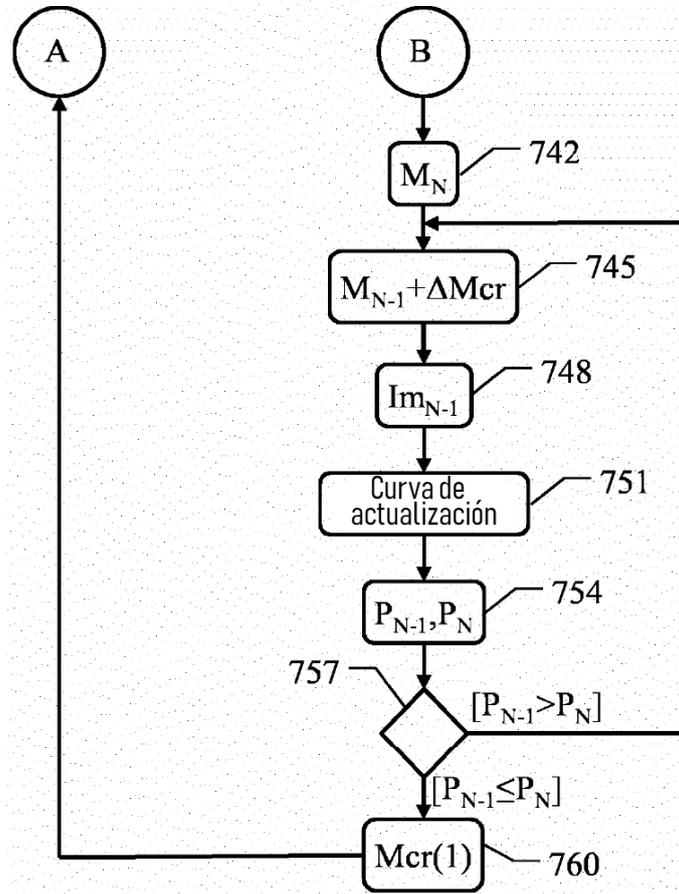


FIG.7B