

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 747**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

G05F 1/67 (2006.01)

H02M 7/493 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2007 PCT/IT2007/000400**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2008 WO08149393**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2007 E 07790132 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2162978**

54 Título: **Entrega de potencia eléctrica por medio de una pluralidad de inversores paralelos y método de control con base en el rastreo del punto de máxima potencia (MPPT)**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.07.2018

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**MARCIANESI, ANDREA;
MARTINI, DAVID y
SOLDANI, SIMONE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 675 747 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

Entrega de potencia eléctrica por medio de una pluralidad de inversores paralelos y método de control con base en el rastreo del punto de máxima potencia (MPPT).

5 Campo técnico

La presente invención se relaciona con mejoras en los sistemas para la producción de electricidad a partir de fuentes renovables, por ejemplo (pero no exclusivamente) paneles fotovoltaicos u otras fuentes sujetas a fluctuaciones en la potencia entregada. En particular, la presente invención se relaciona con mejoras de los métodos y dispositivos para controlar sistemas para la producción de electricidad que tienen la función de maximizar la extracción de potencia.

10

Estado de la técnica

15 Para abordar el problema de la contaminación ambiental y la creciente demanda de electricidad también para uso doméstico, la instalación de unidades generadoras de electricidad distribuidas se está promoviendo actualmente para el suministro de cargas de tamaño medio, por ejemplo, en viviendas e instalaciones comerciales o en ambientes industriales. Estas unidades generadoras utilizan energía alternativa, y en particular fuentes renovables tales como la energía solar, a través de celdas fotovoltaicas que forman paneles o las llamadas matrices fotovoltaicas, o energía eólica por medios de generadores eólicos.

20

Típicamente, una fuente de energía alternativa de este tipo, la cual genera una corriente directa, se combina con una unidad de acondicionamiento de potencia, que comprende un inversor. El inversor está conectado en paralelo a la red, de modo que la red, el inversor o ambos pueden suministrar una carga local genérica. Cuando la potencia suministrada por la fuente alternativa es insuficiente para alimentar la carga, se alimenta total o parcialmente de potencia extraída de la red. Por el contrario, cuando la carga absorbe menos potencia que la proporcionada por la fuente alternativa, o cuando la carga no está alimentada, la potencia generada por la fuente alternativa se alimenta a la red.

25

30 En algunos casos, la fuente alternativa está conectada únicamente a una carga y un acumulador, pero no a la red.

La fuente de energía alternativa puede consistir en paneles fotovoltaicos. Estos pueden conectarse a la red y a la carga por medio de convertidores que básicamente deben realizar dos funciones. En primer lugar, deben garantizar que cuando las condiciones de operación varían, la máxima potencia posible siempre se extrae de la fuente renovable. En segundo lugar, deben garantizar que la corriente de salida del convertidor esté en fase con el voltaje de la red. La primera de las dos funciones también se define como MPPT o rastreo del punto de máxima potencia.

35

En el caso de los paneles fotovoltaicos, por ejemplo, la potencia que se puede extraer de la matriz fotovoltaica depende de las condiciones de radiación o luz solar, es decir, de la cantidad de energía solar que incide en las celdas, y es una función del voltaje aplicado en los terminales de la matriz fotovoltaica y, por lo tanto, en la entrada del convertidor. La Figura 1 muestra un diagrama del patrón de la curva de corriente de voltaje característica de una matriz fotovoltaica típica, así como el patrón de la potencia que se puede extraer de la matriz fotovoltaica (Ppv) en diversas condiciones de luz solar ya que el voltaje varía en los extremos de la matriz fotovoltaica. W1, W2,... Wn indican las curvas de potencia en función del voltaje V en los terminales de la matriz fotovoltaica en diferentes condiciones de luz solar. Las curvas W1, W2.. Wn son relativas a la disminución de la luz solar. I indica la curva de voltaje-corriente característica de la matriz fotovoltaica.

40

45

A partir de la Figura 1 se puede ver que cada curva Wi tiene un punto máximo caracterizado por voltajes V los cuales son gradualmente más bajos a medida que se reduce la luz solar. En otras palabras, a medida que disminuye la radiación solar, la potencia eléctrica que se puede extraer del conjunto fotovoltaico disminuye, se obtiene además la potencia máxima al operar la matriz fotovoltaica a voltajes que varían de acuerdo con la temperatura y la luz solar. M es la curva que pasa por los puntos máximos de las curvas W1, W2,... Wi,... Wn.

50

La curva Wi sobre la cual opera el sistema, dicho sistema que consiste en la matriz fotovoltaica y el convertidor conectado a la carga y/o a la red, depende de las condiciones de la luz solar que pueden variar de manera aleatoria. La función de rastreo del punto de máxima potencia, que el convertidor debe realizar, sirve por lo tanto para mantener el voltaje en los terminales de la matriz fotovoltaica en un valor lo más cercano posible al correspondiente al punto máximo de la curva Pi en el cual la matriz fotovoltaica está operando en ese momento. En la Figura 1 dichos valores están indicados por V1, V2,... Vn.

55

60

Ejemplos de controles de inversor para paneles fotovoltaicos con función MPPT se describen en US-A-4,649,334; US-A-5,869,956; US-A-5,747,967; US-A-5,327,071; US-A-6,590,793; US-A-6,844,739; US-A-5,923,100; US-A-6,433,522; US-A-6,882,131; US-A-6,914,418; US-A-6,919,714; US-A-4,404,472; US-A-2005/0116671; US-A-4,494,180; US-A-2005/0110454; US-A-2003/0066555.

65

Para absorber las altas potencias generadas por grandes matrices fotovoltaicas u otras fuentes de energía renovables, por ejemplo generadores eólicos de alta potencia, se han producido sistemas con un único inversor de alta potencia. Estos sistemas tienen el inconveniente de que si el inversor falla, se pierde toda la energía producida hasta la reparación del inversor. Si el sistema no está conectado a la red, sino que es la única fuente de electricidad para una utilidad dada, la falla del inversor significa que no se suministra electricidad a dicha red, con inconvenientes obvios y posiblemente serios.

Por lo tanto, se han producido sistemas modulares, es decir, que comprenden una pluralidad de módulos que comprenden cada uno un inversor. Cada inversor está dimensionado para absorber una parte de la potencia que puede generar la fuente con la cual se combinan los inversores. En estos sistemas, la falla de un inversor puede implicar, en el peor de los casos, una reducción en la potencia entregada pero no una detención de la entrega, gracias a la redundancia proporcionada por la pluralidad de inversores en paralelo.

Un ejemplo de un sistema modular de este tipo se describe en el documento de los Estados Unidos US-A-6,800,964. Dicho sistema comprende una pluralidad de paneles fotovoltaicos, los cuales se pueden conectar a una pluralidad de inversores a través de dos unidades de conmutación. La disposición es tal que, al conmutar los interruptores, se puede conectar un número variable de paneles fotovoltaicos a un número variable de inversores. Este sistema tiene el inconveniente de que implica un alto coste debido a la presencia de un gran número de interruptores que, además de estar sujetos a fallas, requieren un sistema de control relativamente complejo para la conmutación.

Los documentos US-A-6,285,572 o EP 1 047 179 A1 describen un sistema fotovoltaico con una pluralidad de inversores en paralelo. En este tipo de sistema, uno de los inversores se selecciona como maestro, es decir, como una máquina o unidad que controla a los demás, y a la cual están sujetos jerárquicamente los otros módulos o unidades, es decir, se comportan como unidades esclavas. Los diversos módulos pueden colocarse mediante el cierre de un interruptor de conexión entre el panel o paneles fotovoltaicos y los módulos mismos. La cantidad de módulos conectados depende de la potencia por unidad de superficie recolectada por los paneles. En condiciones ideales de estabilidad atmosférica y ausencia de nubes, la potencia radiada aumenta gradualmente cuando sale el sol hasta que alcanza un valor máximo, y luego gradualmente se desvanece hasta el ocaso. En una situación ideal de este tipo, primero se aumenta gradualmente el número de módulos que funcionan, después de lo cual se mantiene estable y luego se reduce gradualmente. Los módulos están controlados de manera que todos los módulos activos operan a potencia constante, es decir, suministran una potencia eléctrica constante en la salida, a la vez que solo uno de ellos absorbe y entrega una potencia variable. Este módulo es el que supervisa a los demás, es decir, el módulo maestro. Solo este módulo realiza el algoritmo MPPT y modifica las condiciones de funcionamiento de acuerdo con la potencia recolectada por los paneles.

Este sistema resuelve el problema de la gestión del algoritmo MPPT, atribuyendo la función de MPPT solo al módulo maestro, a la vez que los demás son controlados por el módulo maestro a fin de entregar una potencia fija. Sin embargo, esta forma de gestionar el sistema modular tiene una desventaja sustancial: la imposibilidad de adaptación rápida a la variación en las condiciones de la luz solar, es decir, la variación de la potencia radiada por el sol y recolectada por los paneles fotovoltaicos.

De hecho, la curva de luz solar con respecto al tiempo es solo idealmente una curva sustancialmente continua, primero aumentando y luego disminuyendo. En realidad, cuando el sol está oscurecido por las nubes, la cantidad de energía irradiada se modifica de manera imprevisible y significativa. Cuando la potencia radiada se reduce repentinamente por el paso de una nube, el sistema que se describe en el documento de los Estados Unidos US-A-6,285,572 requiere un tiempo relativamente largo para volver a identificar, mediante la ejecución del algoritmo MPPT, el punto operativo que permite la extracción de la potencia máxima a partir del panel hacia la red. Este punto se determina por un valor de voltaje en la salida del panel fotovoltaico y por lo tanto en la entrada del inversor, el cual se define mediante el algoritmo MPPT y es diferente para cada valor de luz solar, es decir, para cada valor de la potencia irradiada sobre los paneles fotovoltaicos. Este sistema conocido no es capaz de gestionar adecuadamente estos transitorios, lo que resulta en una pérdida sustancial de energía, ya que el voltaje de salida de los paneles fotovoltaicos no puede alcanzar rápidamente el valor óptimo en cualquier condición de luz solar, es decir, al valor que permite la extracción de potencia máxima de los paneles.

Objetos y resumen de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para controlar o gestionar un sistema de generación de energía eléctrica, que comprende al menos una fuente de corriente directa que suministra una potencia eléctrica sujeta a fluctuaciones, lo cual hace posible lograr una mayor eficiencia en la extracción de la potencia eléctrica de dicha fuente.

El objeto de una realización de la invención es proporcionar un método para controlar o gestionar un sistema de generación de potencia con uno o más paneles fotovoltaicos conectados a una pluralidad de inversores en paralelo.

Un objeto adicional de la invención es también la producción de un sistema para controlar o gestionar una pluralidad de inversores que pueden conectarse en paralelo a una fuente de energía eléctrica para optimizar el funcionamiento del sistema.

5 Un método de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 1 y un sistema de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 16. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes. La invención proporciona un método para controlar un sistema de generación de potencia eléctrica que comprende al menos una fuente de corriente directa, la cual suministra una potencia eléctrica sujeta a fluctuaciones, y una pluralidad de inversores provistos de respectivas unidades de control, cuyas entradas están conectadas a dicha fuente y las cuales transforman la potencia eléctrica en la entrada en potencia eléctrica AC en la salida con frecuencia y voltaje controlados, comprendiendo dicho método las etapas de: seleccionar uno de dichos inversores como la unidad maestra y los inversores restantes como unidades esclavas; realizar, a través de dicha unidad maestra, un algoritmo para el rastreo del punto de máxima potencia y generar una señal de control de modulación de potencia a través de dicha unidad maestra. Característicamente, la señal de control de modulación de potencia se usa para controlar y gestionar en paralelo y simultáneamente la unidad maestra y todas las unidades activas de las unidades esclavas para modular la potencia absorbida por la unidad maestra y todas las unidades esclavas activas, de modo que las unidades entregan una potencia variable que rastrea las fluctuaciones de la potencia en la salida de la fuente de corriente directa. A diferencia de algunas técnicas tradicionales, los inversores operan con potencia variable, rastreando, a través del algoritmo MPPT realizado por uno de dichos inversores, el punto de máxima potencia correspondiente a la condición del sistema en ese momento. Esto asegura una adaptación muy rápida del sistema a condiciones de operación variables. Por ejemplo, si la fuente de potencia comprende uno o más paneles fotovoltaicos, el sistema controlado de este modo, rastrea de manera muy eficiente y rápida el punto de máxima potencia en la curva de potencia-voltaje, maximizando la extracción de la potencia disponible.

25 En una realización de la invención, las unidades esclavas se controlan de modo que todas entregan sustancialmente la misma potencia de salida.

En una posible realización, la potencia suministrada por los inversores se controla controlando el desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente en la salida de los inversores.

30 En una realización mejorada de la invención, el número de inversores activos conectados en paralelo a la salida de dicha fuente de corriente directa se puede variar con el tiempo, con el fin de minimizar el número de inversores activos y optimizar la salida de cada inversor, de acuerdo con la potencia teórica máxima que puede ser entregada por dicha fuente de acuerdo con el clima.

35 De acuerdo con un aspecto diferente, la invención se relaciona con un sistema de conversión de potencia eléctrica DC/AC, que comprende: una pluralidad de inversores que pueden conectarse en paralelo y están provistos de respectivas unidades de control, en donde: cada uno de dichos inversores es adecuado para recibir en la entrada una potencia eléctrica DC sujeta a fluctuaciones y para suministrar una potencia AC a frecuencia y voltaje controlados; las unidades de control están programadas para seleccionar uno de dichos inversores como unidad maestra y los otros como unidades esclavas; la unidad maestra realiza un algoritmo de rastreo del punto de máxima potencia en la corriente directa que fluctúa a la entrada de dichos inversores y genera una señal de control del inversor. Característicamente, las unidades de control están programadas para controlar cada unidad esclava y la unidad maestra de acuerdo con dicha señal de control procedente de la unidad maestra, para proporcionar a la salida de dichas unidades una potencia AC, variable de acuerdo con la potencia de entrada fluctuante.

El sistema puede comprender una fuente de potencia DC, cuya salida está conectada a las entradas de dichos inversores. Dicha fuente puede comprender uno o más paneles fotovoltaicos.

50 Otras características ventajosas del método y del sistema de acuerdo con la invención se especifican en las reivindicaciones adjuntas y se describirán con más detalle a continuación con referencia a algunos ejemplos de implementación.

Breve descripción de los dibujos

55 La invención se comprenderá mejor siguiendo la descripción y los dibujos adjuntos, que muestran una realización práctica no limitativa de la invención. Más específicamente, los dibujos muestran lo siguiente:

60 Figura 1: curvas características de un panel fotovoltaico;

Figura 2: un diagrama de bloques simplificado de un sistema con una fuente de potencia eléctrica que consiste en una serie de paneles fotovoltaicos, a los cuales se conectan diversos inversores en paralelo;

65 Figura 3: un diagrama en mayor detalle de un sistema con dos inversores conectados en paralelo a una fuente fotovoltaica;

Figuras 4A y 4B: un diagrama de la potencia extraída de acuerdo con el tiempo a partir de un sistema del tipo que se ilustra en la Figura 3 en dos días típicos con clima variable;

5 Figura 5: un diagrama que muestra la tendencia ideal de la potencia disponible en un sistema fotovoltaico sin perturbaciones atmosféricas;

Figura 6: la curva de la eficiencia del inversor en función de la potencia entregada.

Descripción detallada de una realización de la invención

10 A continuación, la presente invención se describirá con referencia específica a una aplicación a un sistema de paneles fotovoltaicos para la explotación de energía solar, pero los principios que subyacen a la invención también se pueden usar en sistemas con base en otras fuentes de energía renovables.

15 La Figura 1 muestra las curvas de corriente y potencia características de acuerdo con el voltaje a la salida del panel fotovoltaico, ya mencionado en la introducción de la presente descripción.

20 La Figura 2 muestra muy esquemáticamente una planta o sistema 1 para la generación de electricidad mediante el uso de una serie de paneles 3 fotovoltaicos. Los paneles 3 fotovoltaicos están conectados a una pluralidad de inversores indicados globalmente por 5 e indicados individualmente por 5A, 5B... 5N. Los inversores 5, cada uno de los cuales está provisto de una unidad 6A, 6B... 6N de control, están interconectados en paralelo y las salidas están conectadas a una red 7, esquematizada como un generador de voltaje ideal. Los inversores también se pueden conectar a una carga local indicada esquemáticamente con una línea discontinua por Z. Cuando la potencia absorbida por las cargas Z está por debajo de la potencia que pueden suministrar los paneles 3, el exceso de potencia puede alimentarse a la red 7. Por el contrario, cuando los paneles fotovoltaicos no suministran potencia (por ejemplo, de noche) o suministran una potencia inferior al valor requerido por las cargas Z, la red 7 suministra la potencia adicional.

30 El método utilizado para controlar los inversores 5 con el fin de optimizar la extracción de potencia de los paneles 3 fotovoltaicos cuando las condiciones de la luz solar varían, forma un tema específico de la invención. La variación en la luz solar, es decir, la potencia por unidad de superficie recolectada por los paneles 3 fotovoltaicos, se debe tanto al movimiento del sol a lo largo de su órbita aparente con un aumento gradual consecuente y la posterior reducción gradual de la potencia recolectada por los paneles 3 durante el curso del día, y a la variación de las condiciones atmosféricas, en particular el paso de las nubes que reducen la potencia radiada en los paneles 3.

35 Para comprender mejor el método para controlar o gestionar el sistema 1, se hará referencia a una configuración (Figura 3) en la cual solo se proporcionan dos inversores 5A y 5B con la unidad de control correspondiente, conectada a la red 7 y a la carga Z. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el método se puede aplicar también a un sistema con un mayor número de inversores.

40 Como se muestra esquemáticamente en la Figura 3, en particular para el inversor 5A, se proporciona una red de control para realizar un algoritmo MPPT y rastrear, a medida que varía la luz solar, el punto máximo de la potencia con respecto a la curva de voltaje (curvas W_1, W_2, \dots, W_n en la Figura 1). Para dicho fin, el inversor 5A se combina con un bloque 101A el cual realiza un algoritmo MPPT (rastreo del punto de máxima potencia), el cual recibe en la entrada una señal proporcional a la potencia W absorbida por el inversor 5A. La señal proporcional a la potencia se obtiene multiplicando el valor de corriente y voltaje en la entrada del inversor. En la salida del módulo 101A se suministra una señal V_{ref} de voltaje de referencia la cual, restada del voltaje de salida de los paneles fotovoltaicos y, por lo tanto, del voltaje de entrada de los inversores, suministra una señal V_{err} de error. 103A indica una red de compensación que genera una señal S_w de control de potencia, la cual se usa para conducir el circuito 105A del inversor 5A y el circuito 105B equivalente del inversor 5B para modular la potencia absorbida por los inversores individuales y entregada en las salidas del inversor.

55 El algoritmo MPPT puede ser cualquier algoritmo y es conocido por sí mismo. Por ejemplo, puede ser un algoritmo del tipo de perturbación y observación, conocido por los expertos en la técnica y no descrito en detalle aquí. Para los fines de la presente descripción, es suficiente recordar sumariamente el funcionamiento de este tipo de algoritmo. El módulo 101A genera a intervalos regulares un voltaje de referencia perturbado con respecto al voltaje generado en la etapa anterior, por un valor positivo o negativo, de acuerdo con el resultado del ciclo de perturbación precedente. A través de la señal V_{err} obtenida de la comparación con el voltaje real en la salida de los paneles fotovoltaicos, la unidad de control suministra una señal S_w de control de potencia, la cual modifica las condiciones de funcionamiento del inversor 5 para llevar el voltaje a la entrada del inversor (y por lo tanto, a la salida de los paneles fotovoltaicos) al valor V_{ref} . Esta variación en el voltaje de salida causa (debido a la forma de la curva característica de potencia-voltaje, ver la Figura 1), una variación en la potencia a la entrada del inversor 5A. Si esta variación es positiva, es decir, si la perturbación de voltaje causada por el bloque 101A es tal que produce un aumento en la potencia extraída por los paneles fotovoltaicos, esto significa que la perturbación de voltaje está moviendo el sistema hacia el punto máximo de la curva W_i (W_1, W_2, \dots, W_n) correspondiente a la condición de la luz solar en ese momento.

Posteriormente, el voltaje se perturbará nuevamente con una perturbación, del mismo signo. En el caso opuesto, es decir, si la potencia en la entrada del inversor cae debido a la perturbación inducida en el voltaje, esto significa que la variación de voltaje a la salida de los paneles causada por la perturbación está alejando el sistema del punto máximo de la curva de voltaje de potencia. En la etapa posterior, el bloque 101A causará consecuentemente una perturbación del voltaje en la dirección opuesta.

De acuerdo con la invención, cuando ambos inversores 5A, 5B (o los diversos inversores de un sistema de múltiples etapas con más de dos inversores) están en una condición activa, la señal S_w de control generada por uno de ellos (en el caso de la Figura 3, el inversor 5A) provocará una variación análoga en las condiciones de funcionamiento de todos los demás inversores.

Por lo tanto, en la configuración que se muestra en la Figura 3, el inversor 5A se comporta como una unidad maestra y realiza, a través de su unidad de control, el algoritmo MPPT para generar la señal S_w de control de potencia. Este último se usa no solo para accionar el inversor 5A, sino también el inversor 5B. Por lo tanto, este último se comporta como una unidad esclava. Si el sistema comprende otros inversores 5C, 5D, etc., todos estos se comportarán como unidades esclavas, controladas por la misma unidad 5A maestra.

Una red de control similar que comprende un módulo 101B y una red 103B de compensación también para el inversor 5B está indicada por una línea discontinua en la Figura 3. Esto indica que también este último puede realizar la función de maestro, haciendo que el inversor 5A funcione como esclavo

En general, cualquiera de los inversores 5A, 5B puede seleccionarse para operar como unidad maestra y el otro se comportará consecuentemente como unidad esclava.

En la configuración que se ilustra, la señal S_w se usa directamente para ambas unidades 5A, 5B y, por lo tanto, estas últimas entregan la misma potencia en la salida. Esto, sin embargo, no es estrictamente esencial. Por ejemplo, los dos inversores pueden absorber y suministrar diferentes potencias, aunque ambos están modulados a través de la misma señal S_w generada por la misma unidad 5A maestra como se describió anteriormente.

La unidad maestra y la unidad esclava se pueden seleccionar de diversas maneras. Para obtener una explotación equilibrada del sistema, por ejemplo, en cada puesta en marcha del sistema 1, el inversor que funcionó como unidad esclava en el ciclo operativo anterior puede programarse para su selección como unidad maestra. Si hay más de dos inversores, se pueden programar para selección secuencial como unidad maestra en cada ciclo operativo, es decir, para cada día de operación.

Alternativamente, en cada puesta en marcha del sistema 1, cada inversor puede programarse para generar un número aleatorio. En este caso, la unidad de control de los inversores individuales incluirá una función de generación de números aleatorios. Estos números se pueden comparar y el inversor que generó el número aleatorio más alto o más bajo se seleccionará como unidad maestra.

En general, la rutina de selección de la unidad maestra se activa preferentemente cada vez que se pone en marcha el sistema, es decir, típicamente cada vez que los paneles 3 fotovoltaicos comienzan a recibir energía cuando sale el sol. Esto sin embargo, no es esencial. La selección puede ser más frecuente, modificando la elección de la unidad maestra durante el día, o menos frecuente, manteniendo la selección de un determinado inversor como unidad maestra durante diversos ciclos operativos (días).

En una posible realización, el mismo inversor siempre puede usarse como unidad maestra y el otro u otros siempre como esclavos. En este caso, los inversores utilizados siempre como unidades esclavas se pueden diseñar de modo que no tengan la misma unidad de control que la unidad maestra; en este caso, por ejemplo, no deberían ser capaces de realizar el algoritmo MPPT y, por lo tanto, podrían carecer de los componentes de hardware o software respectivos para el control de esta función. Sin embargo, puede ser conveniente para al menos dos o más; los inversores deben configurarse para realizar el algoritmo MPPT, a fin de obtener un sistema redundante, el cual también puede funcionar en caso de fallo de uno de los bloques MPPT o de las redes de compensación.

La posibilidad de utilizar siempre el mismo inversor como unidad maestra sin la necesidad de realizar cada vez una selección se debe al hecho de que en esta realización todos los inversores están siempre activos y todos entregan la misma potencia. Por lo tanto, no existe una explotación no uniforme de los inversores.

Con el sistema descrito anteriormente, el cual asigna la ejecución del algoritmo MPPT a un único inversor y gestiona, todos los inversores con una única señal de control de potencia generada por la unidad maestra, se puede obtener un comportamiento óptimo en lo que respecta a la adaptación del sistema a variación en las condiciones de la luz solar. Esto se muestra en particular por las curvas experimentales en los diagramas de las Figuras 4A y 4B, correspondientes a dos días diferentes de operación. En los ejes X de estos diagramas se muestra la hora en intervalos de cinco minutos de 6 a.m. a 8 p.m. En los ejes Y es la potencia W_{IRR} que indica la curva que representa la variación de la potencia recolectada por los paneles, es decir, la potencia radiada por el sol sobre los paneles.

W_{OUT} indica la curva que representa la potencia de salida total del sistema, es decir, de los dos inversores 5A, 5B en paralelo.

5 El diagrama de la Figura 4A muestra una curva de luz solar que aumenta gradualmente con una tendencia sustancialmente continua hasta aproximadamente las 10:30 a.m. En este punto, la curva de potencia radiada experimenta fluctuaciones abruptas debido al paso de nubes que reducen la potencia de radiación global que alcanza los paneles. Aproximadamente a las 3:30 p.m. hasta el ocaso, la potencia disminuye continuamente.

10 La curva W_{IRR} experimental indica, sustancialmente, que en la parte central del día específico al cual se refiere la curva, la potencia recolectada por los paneles ha experimentado fluctuaciones marcadas debido al paso de las nubes, especialmente en la parte central del día. La curva W_{OUT} sigue la tendencia de la curva W_{IRR} de manera muy fiel y rápida. Esto significa que la potencia actualmente extraída de los paneles a través de los inversores 5A, 5B es casi igual a la potencia actualmente disponible. Solo una mínima parte de la potencia se pierde debido a que, como las condiciones de la luz solar varían, el sistema tiene que adaptar el voltaje a la salida de los paneles mediante la ejecución del algoritmo MPPT para encontrar, en todas las condiciones de luz solar, el punto máximo de la curva W_1, W_2, \dots, W_n respectiva (Figura 1).

20 Se pueden hacer consideraciones similares con referencia al diagrama de la Figura 4B, que se refiere a un día diferente, con condiciones meteorológicas menos favorables.

25 El uso de un solo bucle (101A, 103A) de control el cual realiza el algoritmo MPPT y el uso de la única señal (S_w) de control de potencia generada por este bucle para controlar todos los inversores, permite esta reacción extremadamente rápida del sistema a la variación en las condiciones de la luz solar y, por lo tanto, el rastreo rápido del punto de máxima potencia a medida que varían las condiciones de la luz solar.

30 Lo anterior se refiere a un sistema con dos inversores conectados permanentemente a los paneles y ambos funcionando siempre, absorbiendo la misma potencia. Sin embargo, no es necesario que todos los inversores de un sistema de etapas múltiples estén siempre funcionando; por el contrario, en algunos aspectos podría ser útil operar un número variable de inversores durante el transcurso del día, por las razones que ahora se aclararán con referencia específica a las Figuras 5 y 6.

35 La Figura 5 muestra en el diagrama superior la forma ideal de la curva W_{ID} que representa la potencia recolectada por los paneles fotovoltaicos en función del tiempo en el curso de un día. Esta curva ideal es la que se mostraría en la Figura 4A o 4B en un día brillante sin nubes durante todo el intervalo de tiempo durante el cual la radiación solar golpea los paneles. Observando la curva de la Figura 5, se puede ver que la potencia máxima que se puede extraer de los paneles fotovoltaicos varía a partir de un mínimo de 0 hasta un máximo indicado por W_{MAX} . Suponiendo, por ejemplo, que esta potencia máxima es igual a 110 kW, es evidente que durante una parte del día (y más particularmente en la parte inicial y final del período durante el cual brilla el sol) la potencia máxima que puede ser entregada por los paneles podría ser completamente absorbida por un solo inversor, el cual en el ejemplo que se ilustra se supone que tiene una potencia nominal de 50 kW.

45 Observando la Figura 6, se puede observar que la eficiencia (que se muestra en el eje Y) de un inversor de acuerdo con la potencia absorbida por ella (que se muestra en el eje X) tiene una tendencia inicialmente creciente hasta un valor η_{MAX} y posteriormente una tendencia decreciente hasta que alcanza un mínimo correspondiente a la potencia máxima que puede ser absorbida por el inversor. W_D indica en el eje X el valor de la potencia de diseño, en el ejemplo que se ilustra aproximadamente 35 kW, correspondiente a la eficiencia máxima del inversor.

50 En ciertas condiciones operativas, para aumentar la eficacia del inversor es evidentemente conveniente que la potencia en la salida de los paneles sea absorbida por un único inversor en lugar de dos, de modo que dicho inversor trabaje más cerca del punto W_D de diseño correspondiente a la máxima eficiencia. De hecho, si, por ejemplo, una potencia de 30 kW está disponible en la salida de los paneles, y esta se distribuye en partes iguales en los dos inversores (15 kW cada uno), cada uno de ellos, debido a las pérdidas internas, tendrá una eficiencia menor que la de uno solo inversor que absorbe toda la potencia disponible.

55 De acuerdo con algunas técnicas conocidas, para reducir el número de inversores activos y, por lo tanto, aumentar la potencia absorbida por cada inversor y la eficiencia general del sistema, se conecta un número cada vez mayor de inversores en función del tiempo, siguiendo la curva W_{ID} ideal de la Figura 5. En este caso, las técnicas conocidas proporcionan para todos los inversores activos que funcionen a potencia constante, a excepción de un inversor utilizado como unidad maestra, el cual realiza el algoritmo MPPT y absorbe una parte variable de la potencia disponible en la salida de los paneles. Esta técnica, descrita por ejemplo en el documento de los Estados Unidos US-B-6285572, tiene el inconveniente de que el sistema es extremadamente lento para adaptarse a la variación en las condiciones de la luz solar, resultando por lo tanto en una pérdida considerable de energía ya que no puede rastrear eficientemente el máximo punto de potencia en las curvas características de los paneles fotovoltaicos. En la práctica, esta técnica conocida está optimizada para operar en condiciones de ausencia total de nubes, una situación que no ocurre en la realidad.

Una realización mejorada de la presente invención combina la técnica de encendido gradual de los inversores a medida que aumenta la potencia teóricamente disponible en los paneles y el método de control descrito anteriormente, realizado por la unidad maestra la cual genera una señal de modulación de potencia que gestiona en paralelo y simultáneamente todas las unidades, tanto la maestra como la esclava.

5 Sustancialmente, de acuerdo con esta realización mejorada de la invención, el intervalo t_0-t_3 (Figura 5) en la cual la potencia se irradia sobre los paneles, se puede dividir en subintervalos, durante los cuales cambia el número de inversores activos. Más específicamente, uno de los dos inversores (normalmente el inversor seleccionado como unidad maestra) permanece encendido durante todo el intervalo t_0-t_3 . Por el contrario, el otro de los dos inversores se enciende solo en el intervalo t_1-t_2 de tiempo, como se muestra esquemáticamente en las curvas de dos etapas debajo del diagrama de la Figura 5, que representan las condiciones de conexión/desconexión de cada uno de los dos inversores.

15 A diferencia de las técnicas tradicionales, en lugar de determinar el momento de encendido del segundo inversor de acuerdo con la potencia real disponible, el sistema puede gestionarse de modo que el segundo inversor se encienda y apague en instantes predefinidos en el tiempo, t_1 , t_2 respectivamente. Estos instantes de tiempo corresponden en la curva W_{ID} ideal a una potencia W_A teóricamente disponible ligeramente inferior, por ejemplo, la potencia W_D de diseño a la cual corresponde la eficiencia máxima de cada inversor 5A, 5B.

20 Durante los intervalos t_0-t_1 y t_2-t_3 , el único inversor activo, seleccionado como maestro, realizará el algoritmo MPPT y generará una señal S_W de control de potencia la cual será utilizada solo por el inversor maestro, a la vez que el inversor esclavo está inactivo. En el intervalo t_1-t_2 de tiempo en el cual ambos inversores están activos, el algoritmo MPPT será realizado por el inversor seleccionado como unidad maestra y la señal S_W de modulación de potencia será utilizada activamente por los dos inversores 5A, 5B, es decir, por el inversor seleccionado como maestro y por el inversor que se comporta como esclavo.

25 De esta manera, en los intervalos t_0-t_1 y t_2-t_3 , en los cuales también en la condición teórica de máxima potencia acumulable (sin nubes) por los paneles 3 fotovoltaicos la potencia en los paneles de salida no supera el valor W_D de diseño, toda la potencia entregada por la fuente se concentra en un solo inversor en lugar de distribuirse en dos. Esto permite que el sistema trabaje más cerca del punto de máxima eficiencia, reduciendo las pérdidas fijas y también reduciendo la explotación del inversor, aumentando estadísticamente la vida media de los inversores del sistema. Cuando la potencia teóricamente disponible (curva W_{ID}) es cercana o superior a la potencia W_D de diseño, la cual está determinada por una señal horaria y no por detección de potencia, dado que la potencia puede verse afectada por la presencia de nubes, ambos inversores se activan y controlan en paralelo para absorber la misma potencia, por ejemplo, y en este intervalo de tiempo la unidad maestra realiza el algoritmo MPPT, proporcionando una señal de control de potencia también para la segunda unidad, como se describe con referencia a la Figura 3.

35 El concepto descrito con referencia a la Figura 5 para el encendido gradual de un número variable de inversores de acuerdo con una señal de tiempo, por ejemplo, también se puede extender a sistemas con más de dos inversores. Lo importante es que el encendido y apagado de los inversores no se produce de acuerdo con la potencia actualmente disponible, la cual puede fluctuar impredeciblemente debido a las perturbaciones atmosféricas, sino siguiendo la curva W_{ID} teórica y, por lo tanto, en función de condiciones de luz solar ideales en el tiempo. Obviamente, será preferible regular el sistema definiendo los intervalos $t_0-t_1-t_2-t_3$ de tiempo de acuerdo con la temporada y/o la latitud en la cual se instala el sistema.

45 Esta lógica de control no reduce la velocidad de adaptación del sistema a las variaciones en las condiciones de la luz solar y permite mantener el comportamiento ideal en lo que respecta a la extracción de la potencia máxima disponible a través del rastreo eficiente del punto de máxima potencia.

REIVINDICACIONES

1. Un método para gestionar un sistema (1) para la generación de potencia eléctrica, que comprende al menos una fuente (3) de corriente directa, la cual suministra una potencia eléctrica sujeta a fluctuaciones, y una pluralidad de inversores (5A, 5B, 5N), provistos con respectivas unidades (6A, 6B, 6N) de control, cuyas entradas están conectadas a dicha fuente (3) y las cuales transforman la energía eléctrica en la entrada en potencia eléctrica alterna en la salida con frecuencia y voltaje controlados, que comprende las etapas de:
- 5 a. seleccionar uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) como unidad maestra y los inversores restantes como unidades esclavas;
- 10 b. realizar, a través de dicha unidad maestra, un algoritmo de rastreo de punto de máxima potencia y generar una señal (Sw) de control de modulación de potencia a través de dicha unidad maestra;
- 15 caracterizado porque dicha señal (Sw) de control de modulación de potencia se usa para controlar y gestionar en paralelo y simultáneamente la unidad maestra y todas las unidades activas de dichas unidades esclavas para modular la potencia absorbida por dicha unidad maestra y todas dichas unidades esclavas activas, de modo que dichas unidades entregan una potencia variable que rastrea las fluctuaciones de la potencia a la salida de dicha fuente (3) de corriente directa.
- 20 2. Método como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizado porque dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas se controlan para entregar sustancialmente toda la misma potencia de salida, variando dicha potencia de salida de acuerdo con la potencia suministrada por dicha fuente (3) de corriente directa.
- 25 3. Método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque dicha señal (Sw) de control de modulación de potencia es tal que el voltaje a la entrada de dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas fluctúa alrededor de un valor que maximiza la potencia entregada por dicha fuente (3) de corriente directa, que varía simultáneamente la potencia entregada por dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas a través de dicha señal de control de modulación de potencia.
- 30 4. Método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2 o 3, caracterizado porque dicha fuente (3) de corriente directa comprende al menos un panel fotovoltaico.
- 35 5. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha unidad maestra realiza dicho algoritmo de rastreo del punto de potencia máximo perturbando cíclicamente el voltaje en la salida de la fuente de potencia de corriente directa y observando la variación en la potencia entregada por dicha fuente de corriente directa resultante de dicha perturbación, y genera la señal (Sw) de control de modulación de potencia para la potencia a la salida de dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas para mantener el voltaje de salida de dicha fuente (3) de corriente directa alrededor del punto de potencia máxima entregada por dicha fuente cuando varía un parámetro externo.
- 40 6. Método como se reivindica en las reivindicaciones 4 y 5, caracterizado porque dicho parámetro externo está representado por la potencia por unidad de superficie recolectada por dicho al menos un panel fotovoltaico.
- 45 7. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la potencia suministrada por dichos inversores (5A, 5B, 5N) se controla controlando el desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente a la salida de los inversores (5A, 5B, 5B).
- 50 8. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) se selecciona como unidad maestra en la puesta en marcha de dicho sistema (1).
- 55 9. Método como se reivindica en la reivindicación 8, caracterizado porque en el arranque de dicho sistema (1), cada inversor (5A, 5B, 5N) genera un número aleatorio y la unidad maestra se identifica sobre la base de los números aleatorios generados por dichos inversores.
- 60 10. Método como se reivindica en la reivindicación 9, caracterizado porque el inversor (5A, 5B, 5N) que genera el número aleatorio más alto se convierte en la unidad maestra.
11. Método como se reivindica en la reivindicación 9, caracterizado porque el inversor (5A, 5B, 5N) que genera el número aleatorio más bajo se convierte en la unidad maestra.
12. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la potencia suministrada por al menos uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) se varía para mantener dicha potencia en torno a un punto de máxima eficiencia del inversor.

13. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por proporcionar dos inversores (5A, 5B) y modular la señal (Sw) de control de modulación de potencia para la potencia entregada por dichos inversores (5A, 5B) para maximizar la eficiencia de dichos inversores.
- 5 14. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque todos los inversores se mantienen conectados a dicha fuente, variando la potencia entregada por dichos inversores por medio de dicha señal (Sw) de control de modulación de potencia generada por la unidad maestra.
- 10 15. Método como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado porque el número de inversores (5A, 5B, 5N) conectados en paralelo a la salida de dicha fuente (3) de corriente directa varía a lo largo del tiempo con el fin de minimizar el número de inversores activos y optimizar la eficiencia de cada inversor, de acuerdo con la potencia teórica máxima que puede suministrar dicha fuente en función del tiempo.
- 15 16. Un sistema (1) de conversión de potencia eléctrica DC/AC, que comprende: una pluralidad de inversores (5A, 5B, 5N) que pueden conectarse en paralelo y están provistos de respectivas unidades (6A, 6B, 6N) de control, en donde:
- cada uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) es adecuado para recibir a la entrada una potencia eléctrica DC sujeta a fluctuaciones y para suministrar una potencia AC con frecuencia y voltaje controlados;
 - uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) se selecciona como unidad maestra y los otros como unidades esclavas; dicha unidad maestra realiza un algoritmo de rastreo de punto de máxima potencia en la corriente directa que fluctúa a la entrada de dichos inversores y genera una señal (Sw) de control de modulación de potencia para dichos inversores;
 - caracterizado porque dichas unidades (6A, 6B, 6N) de control están programadas además para controlar y gestionar en paralelo y simultáneamente todas las unidades activas de dichas unidades esclavas y la unidad maestra de acuerdo con dicha señal (Sw) de control de modulación de potencia a partir de la unidad maestra, para proporcionar a la salida de dichas unidades una potencia AC, la cual es variable y modulada de acuerdo con la potencia de entrada fluctuante.
- 20 25 30 17. Sistema (1) como se reivindica en la reivindicación 16, caracterizado porque las unidades de control de dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas están programadas para asegurar que dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas entreguen todas sustancialmente la misma potencia de salida, variando dicha potencia de salida de acuerdo con la potencia de entrada.
- 35 18. Sistema (1) como se reivindica en la reivindicación 16 o 17, caracterizado por una fuente (3) de potencia DC, cuya salida está conectada a las entradas de dichos inversores.
- 40 19. Sistema (1) como se reivindica en la reivindicación 18, caracterizado porque dicha fuente (3) de potencia DC comprende al menos un panel fotovoltaico.
- 45 20. Sistema (1) como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 16 a 19, caracterizado porque dicha señal de control de modulación de potencia es tal que el voltaje a la entrada de dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas, fluctúa alrededor de un valor que maximiza la potencia suministrada por dicha fuente (3) de corriente directa, que varía simultáneamente la potencia entregada por dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas por medio de dicha señal (Sw) de control de modulación de potencia.
- 50 21. Sistema (1) como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 18 a 20, caracterizado porque las unidades (6A, 6B, 6N) de control están programadas para que dicha unidad maestra realice dicho algoritmo de rastreo de punto de máxima potencia, perturbando cíclicamente el voltaje a la salida de la fuente (3) de potencia DC y observar la variación en la potencia entregada por dicha fuente (3) de corriente directa resultante de dicha perturbación, y genera la señal (Sw) de control de modulación de potencia a la salida de dicha unidad maestra y dichas unidades esclavas tales como para mantener el voltaje de salida de dicha fuente (3) de corriente directa alrededor del punto de potencia máxima entregada por la fuente (3) de corriente directa cuando varía un parámetro externo.
- 55 22. Sistema (1) como se reivindica en la reivindicación 21, caracterizado porque dicho parámetro externo está representado por la potencia por unidad de superficie recolectada por dicho al menos un panel fotovoltaico.
- 60 23. Sistema (1) como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 16 a 22, caracterizado porque dichas unidades (6A, 6B, 6N) de control están programadas para controlar la potencia suministrada por dichos inversores (5A, 5B, 5N) que actúan en el desplazamiento de fase entre el voltaje y la corriente a la salida de los inversores.
- 65 24. Sistema (1) como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 18 a 23, caracterizado porque dichos inversores están conectados permanentemente a dicha fuente (3) de potencia de corriente directa sin la interposición de dispositivos de conmutación.

25. Sistema (1) como se reivindica en una o más de las reivindicaciones 16 a 24, caracterizado porque dichas unidades (6A, 6B, 56N) de control están programadas para realizar una función de selección de uno de dichos inversores (5A, 5B, 5N) como unidad maestra y los otros como unidades esclavas.

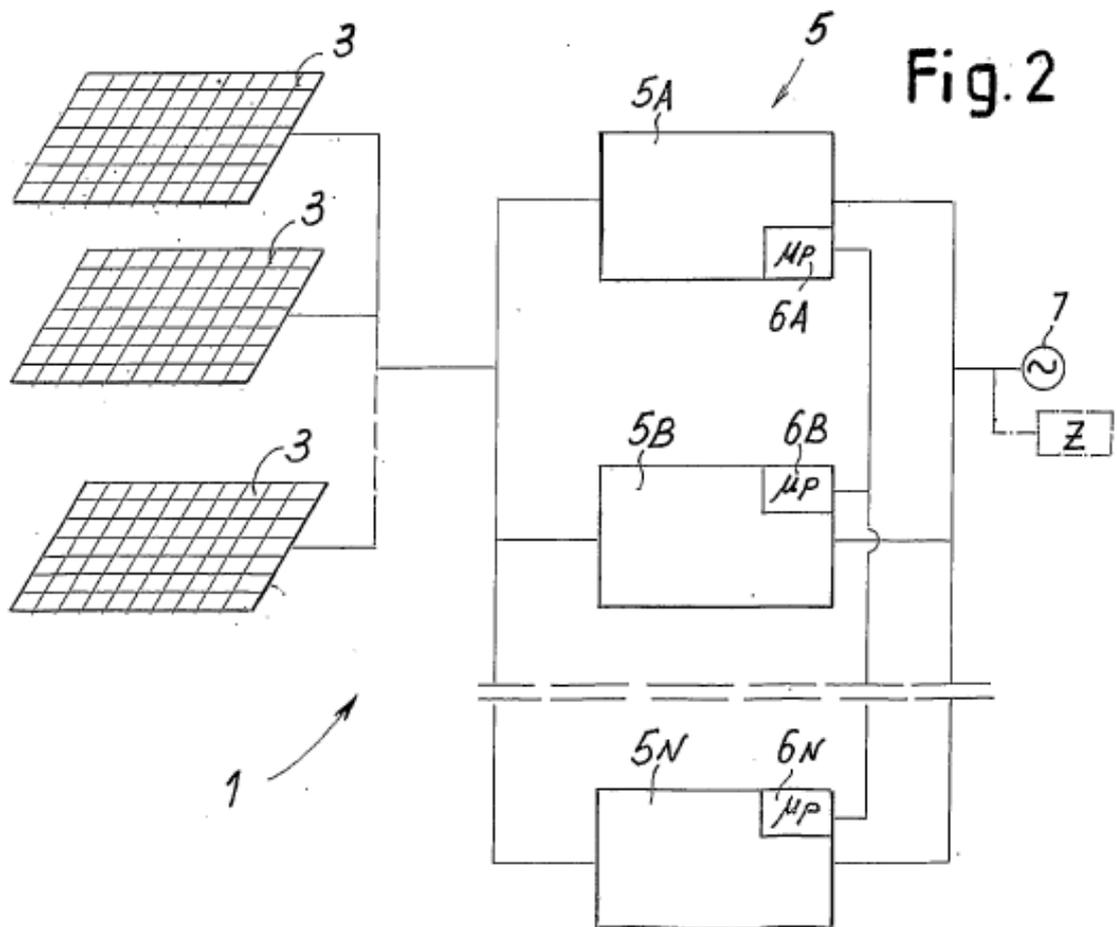
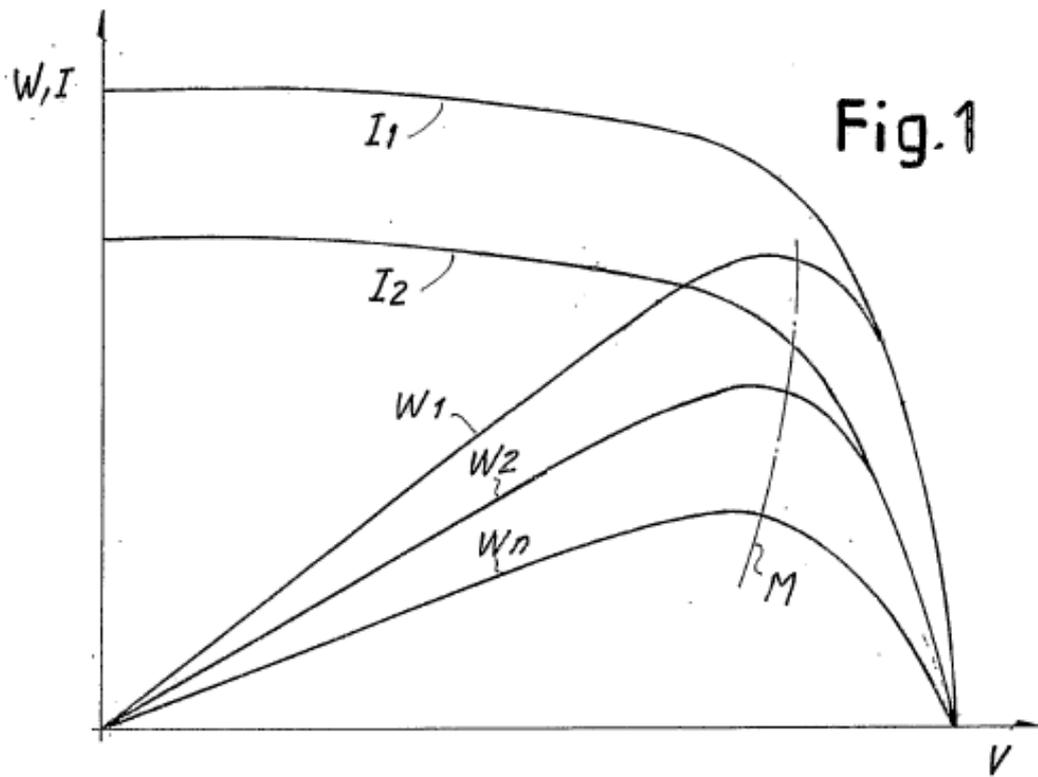


Fig. 3

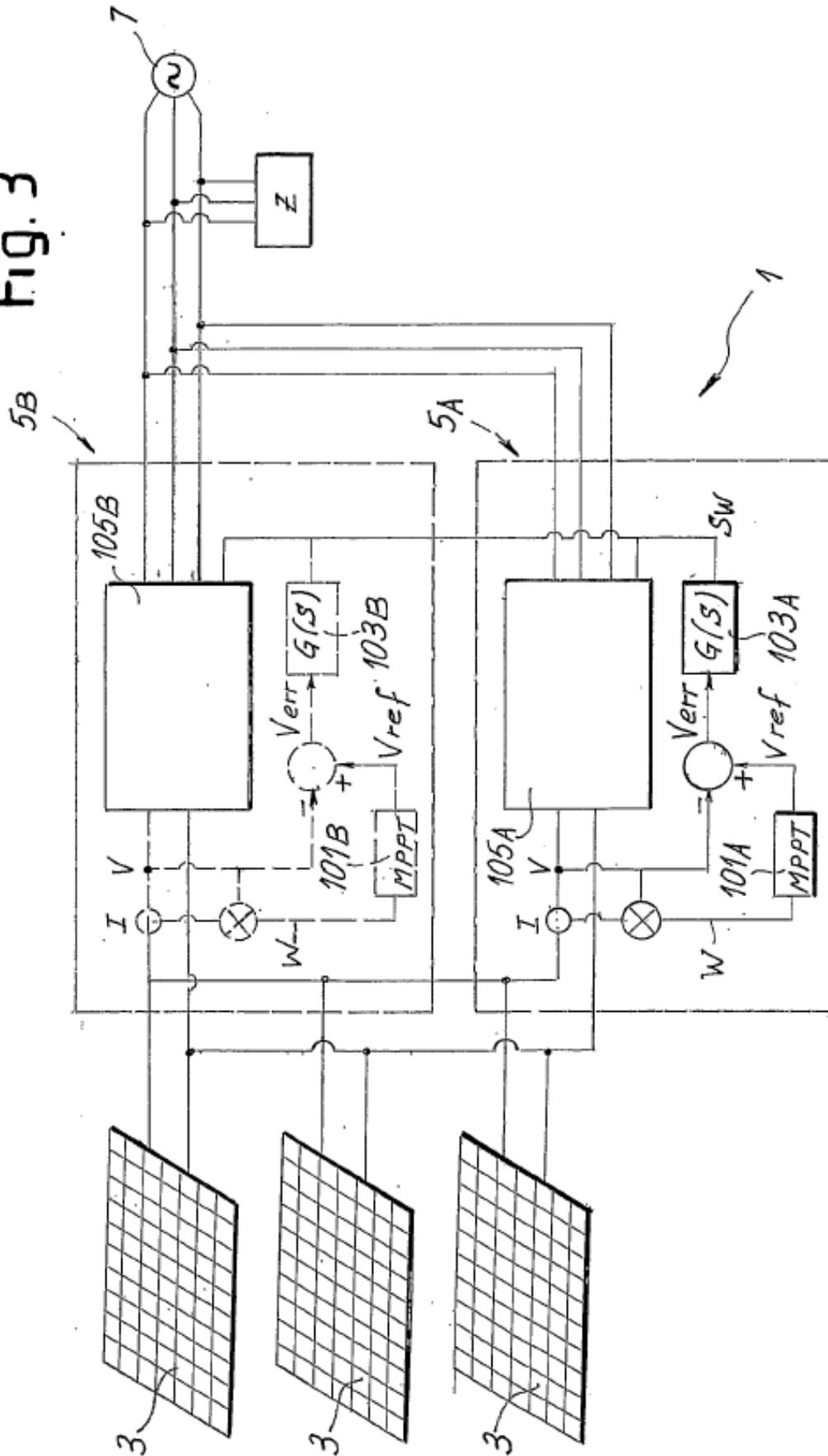


Fig. 4A

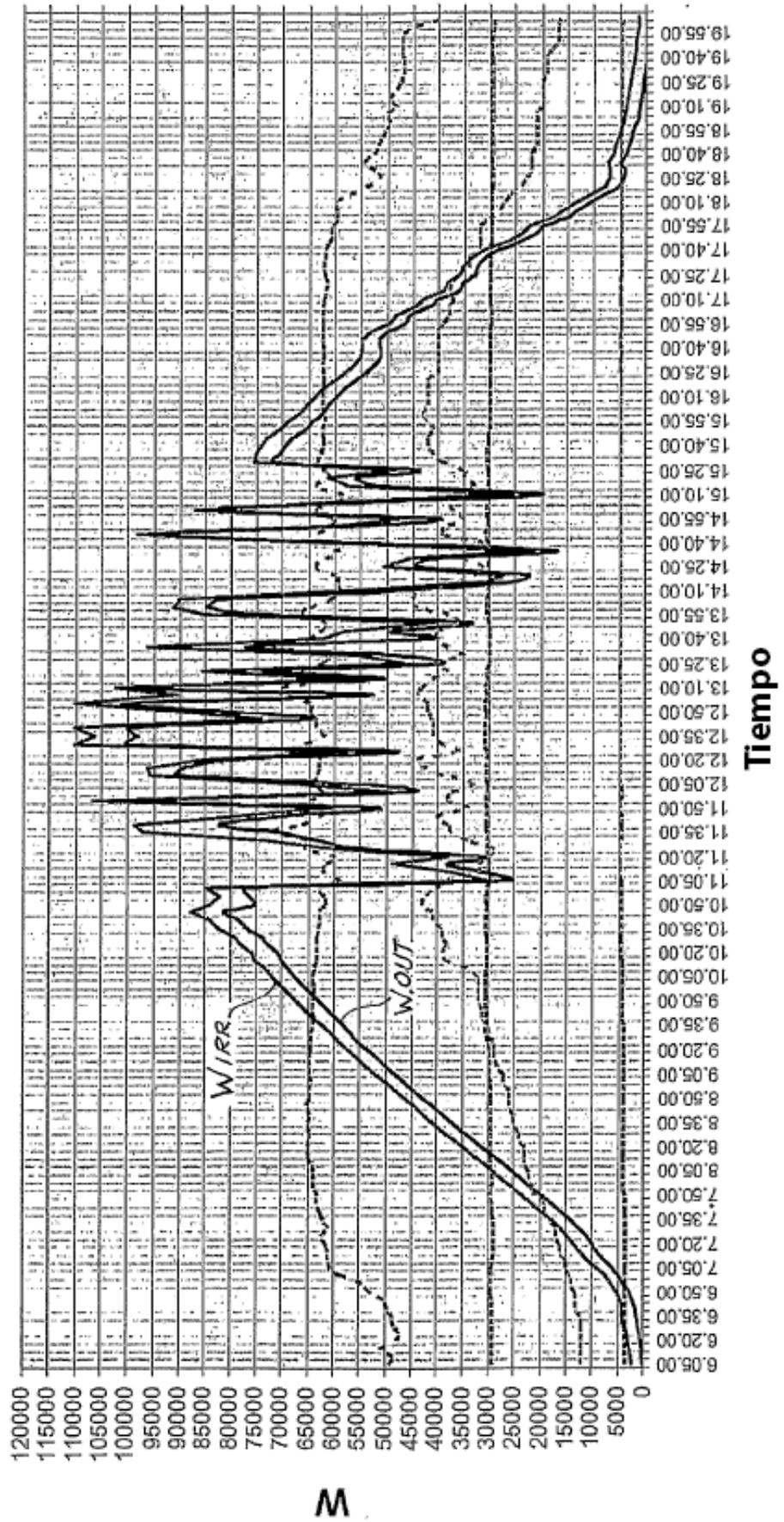


Fig.4B

