

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
11 de Octubre de 2007 (11.10.2007)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2007/113358 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G05F 1/67 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2007/000184

(22) Fecha de presentación internacional:
30 de Marzo de 2007 (30.03.2007)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200600843 31 de Marzo de 2006 (31.03.2006) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI [ES/ES]; Carrer de l'Escorxador, s/n, E-43003 Tarragona (ES).

(72) Inventor; e

(75) Inventor/Solicitante (para US solamente): CAPEL, Antoine [FR/ES]; Carrer de l'Escorxador, s/n, E-43003 Tarragona (ES).

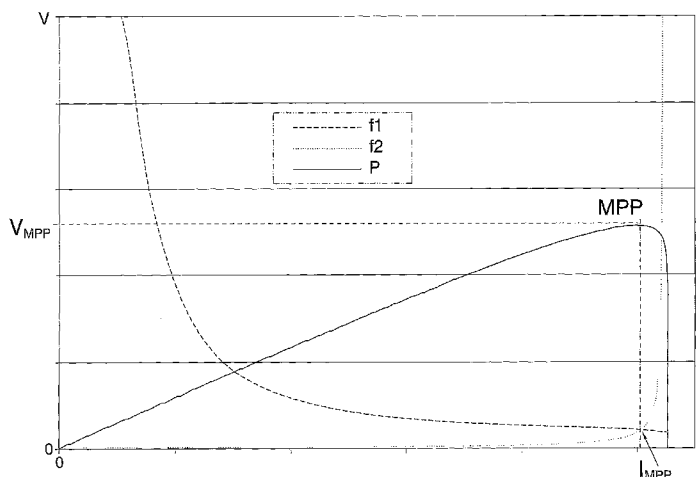
(74) Mandatario: CARPINTERO LOPEZ, Francisco; Hertero & Asociados, S.L., Alcalá, 35, E-28014 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: CIRCUIT AND METHOD FOR MONITORING THE POINT OF MAXIMUM POWER FOR SOLAR ENERGY SOURCES AND SOLAR GENERATOR INCORPORATING SAID CIRCUIT

(54) Título: CIRCUITO Y PROCEDIMIENTO DE CONTROL DEL PUNTO DE POTENCIA MÁXIMA PARA FUENTES DE ENERGÍA SOLAR Y GENERADOR SOLAR QUE INCORPORA DICHO CIRCUITO



(57) Abstract: The invention is designed for continuous, rapid and effective monitoring of a solar or equivalent source in order successfully to arrange for it to operate at its point of maximum power (PMP) without interrupting the supply of electricity to users, with a conventional power-regulating structure of series or parallel type, governed by an independent module capable of calculating the voltage and current coordinates of said PMP (VPMP, IPMP) by applying an iterative algorithm and/or graphic methods. This module ideally requires only one measurement point, relating to the electrical characteristic, with the ambient conditions of said source, and as a result it delivers a reference signal, a continuous, stable voltage constantly representative of the evolution of the PMP, for the power regulator. In the event of the use of a power-regulating structure of S3R or ASR type, information about the PMP is immediate and requires no intermediate measurement point.

(57) Resumen: La invención está concebida para un control continuo, rápido y efectivo de una fuente solar o equivalente a fin de lograr que opere en su Punto de Máxima Potencia (MPP), sin interrumpir el suministro eléctrico a los usuarios, con una estructura reguladora

[Continúa en la página siguiente]



WO 2007/113358 A1



SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

(84) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

Publicada:

- *con informe de búsqueda internacional*
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones*

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

de potencia convencional, de tipo serie o paralelo, gobernada por un módulo independiente capaz de calcular las coordenadas de tensión y corriente del dicho MPP (VMPP,IMPP) aplicando un algoritmo iterativo y/o métodos gráficos. Este módulo sólo precisa idealmente un punto de medida, referido a la característica eléctrica, con las condiciones ambientales de dicha fuente, y entrega como resultado una señal de referencia, una tensión continua, estable y constantemente representativa de la evolución del MPP, para el regulador de potencia. En caso de uso de una estructura reguladora de potencia de tipo S3R o ASR, el conocimiento del MPP es inmediato y no requiere ningún punto de medida intermedio.

**CIRCUITO Y PROCEDIMIENTO DE CONTROL DEL PUNTO DE POTENCIA
MÁXIMA PARA FUENTES DE ENERGÍA SOLAR Y GENERADOR SOLAR
QUE INCORPORA DICHO CIRCUITO**

5

DESCRIPCIÓN

OBJETO DE LA INVENCION

10

La presente invención tiene su principal campo de aplicación en la industria destinada al diseño de dispositivos electrónicos y, más particularmente, dentro del sector de los sistemas de potencia de energía solar fotovoltaica.

15

Un objeto de la invención es permitir que la fuente de energía trabaje en su Punto de Potencia Máxima (MPP), siempre que esta condición es requerida por los usuarios, de manera permanente sin provocar ninguna discontinuidad en el voltaje que suministra.

20

Asimismo, es objeto de la invención proporcionar un circuito de control de potencia para un generador solar con un alto rendimiento que determine continuamente dicho Punto de Potencia Máxima (MPP) de una forma rápida.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

25

Los generadores solares, tales como los que comprenden paneles fotovoltaicos, son ampliamente utilizados en la actualidad tanto en sistemas de potencia espaciales (estaciones, satélites, sondas y otros vehículos espaciales) como terrestres (edificios con instalaciones de energía renovable, etc.), debido a su independencia de cualquier red de distribución eléctrica, con la ventajosa capacidad de suministrar energía de manera autónoma tanto a equipos fijos como móviles.

30

Al hablar de energía solar, se puede distinguir entre la termosolar que, por medio de un colectores solares, aprovecha la radiación del sol para producir

agua caliente de uso domiciliario o comercial por efecto invernadero, aparte de los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad por efecto fotovoltaico, entre otras clases de sistemas a los que también se aplica la radiación solar: termoelectricos para producir electricidad con un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado por el sol, los pasivos que aprovechan el calor del sol sin necesidad de mecanismos intermedios y sistemas híbridos que combinan la energía solar con la combustión de biomasa o combustibles fósiles. Este documento se centra exclusivamente en la energía solar fotovoltaica.

Estas fuentes de energía presentan una potencia cuya curva característica alcanza un máximo para cierto valor de tensión único, denominado en el estado de la técnica como Punto de Potencia Máxima (MPP). Los problemas surgen cuando el diseñador del sistema de potencia pretende que el panel solar trabaje en el MPP por razones obvias de reducción de masa y coste. La mayoría de los sistemas de potencia de este tipo conocidos hasta la fecha logran ese objetivo implementando un algoritmo de seguimiento, llamado MPPT (Maximum Power Point Tracking), en el lazo de control de la unidad encargada de gestionar esta fuente de energía o unidad acondicionadora de potencia.

El método de regulación de potencia MPPT permite que los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos, suministren toda la potencia disponible variando electrónicamente su punto de operación. El beneficio de llevar a cabo el MPPT es evidente frente a los controladores de potencia convencionales, donde los paneles se conectan directamente a la red de carga del usuario (por ejemplo, para cargar una batería), forzándoles pues a operar al nivel de tensión propio de la batería, el cual frecuentemente no corresponde a la tensión ideal para la que los paneles fotovoltaicos dan el máximo de potencia. Adicionalmente el seguimiento MPPT puede emplearse en conjunción con el típico control mecánico, en el cual se mueven automáticamente los paneles para optimizar su apuntamiento hacia el sol.

Pero para hacer trabajar un panel solar en su MPP, si esta condición es aceptada por los usuarios, de manera permanente, hoy en día el solicitante solamente conoce una técnica divulgada por el mismo inventor de la presente y que viene recogida en la Patente Francesa FR2844890. La
5 unidad acondicionadora de potencia que contempla FR2844890 genera una señal de control correspondiente a la diferencia entre la tensión instantánea y el valor de tensión del MPP que sirve de referencia a dicha unidad acondicionadora. El inconveniente es que no es posible sin afectar a la
10 continuidad de la tensión suministrada al usuario. La razón radica en que el cálculo de dicha tensión de referencia que se hace, según el proceso explicado en FR2844890, precisa previamente determinar una solución a la ecuación característica de potencia, representada por la curva corriente-tensión, a partir de cuatro puntos de esa curva, para obtener el nuevo MPP, es decir, los valores de tensión y corriente actuales correspondientes al
15 máximo de potencia. Esto supone una desventaja, porque la unidad o el circuito de potencia y, por tanto, el generador solar que lo incorpora requieren la interrupción de la tensión de suministro, al utilizar en el control del MPP un algoritmo que necesita las medidas de justamente cuatro puntos de la característica eléctrica del panel solar, con la consecuente pérdida de
20 rendimiento y velocidad de la regulación de la potencia del generador.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se concibe para su aplicación en el control y
25 acondicionamiento de potencia, en general, para fuentes de energía solar cuya característica eléctrica posee un único Punto de Potencia Máxima (MPP) y, en particular, se refiere a un procedimiento y al circuito donde se implementa que soluciona, entre otras, la problemática anteriormente
30 expuesta, en todos y cada uno de los diferentes aspectos comentados, constituyendo una alternativa para el cálculo del MPP mejorada frente a los sistemas antecedentes.

En concreto, el procedimiento y circuito de la invención presentan importantes ventajas en comparación con la solución expuesta en FR2844890, basadas en un aspecto fundamental para determinar dicho MPP y que es el número de puntos de la característica eléctrica real de la fuente, que preferentemente es un panel fotovoltaico o una agrupación de paneles solares, necesarios para los cálculos. Al contrario de lo requerido en FR2844890, aquí no es necesario un número fijo de puntos de la característica eléctrica del panel e igual a cuatro puntos de medida, sino que en la presente invención se necesitan menos, en el mejor de los casos un solo punto de medida situado entre el "viejo" MPP y el "nuevo" MPP, para calcular el nuevo MPP, es decir, las coordenadas actualizadas de tensión y corriente instantáneas que corresponden al máximo de la función de potencia.

Esto redundará en un procedimiento más rápido, así como en la obtención de un circuito de control de potencia y, por tanto, de un generador solar conectado al mismo, con mayor rendimiento. Desde el punto de vista del usuario, el circuito se comporta como un servosistema de tiempo discreto, actuando como un regulador de potencia clásico que encuentra su nuevo MPP al cabo de sólo 2 muestras, yendo siempre al encuentro de la tensión actual del MPP sin inestabilidades, en dirección del nuevo MPP sin oscilaciones.

Un aspecto de la invención se refiere pues a un procedimiento de control del máximo de la función de potencia $P = vi$, donde la variable v es la tensión instantánea y la variable i es la corriente de un generador o fuente solar, que está conectada a una red de carga del usuario por medio de una unidad acondicionadora de potencia. Así, el llamado Punto de Potencia Máxima (MPP) viene definido por unas coordenadas de tensión y corriente (V_{MPP} , I_{MPP}) que el procedimiento se encarga de determinar a partir de un solo punto de medida de la característica eléctrica de dicha fuente. Este procedimiento entrega a la unidad acondicionadora de potencia, de forma continua o en modo muestreo, una señal de referencia en correspondencia

con el valor actual de la tensión V_{MPP} , es decir, la tensión de referencia a la entrada de la unidad acondicionadora de potencia es rigurosamente proporcional o igual al valor instantáneo de tensión en el Punto de Potencia Máxima (MPP). Esta tensión de referencia es aplicada por la unidad

5 acondicionadora de potencia para regular la tensión de salida de la fuente solar, sin necesidad de interrumpir el suministro de tensión a la mencionada red de carga del usuario, como suelen hacerlo los reguladores de potencia convencionales.

El generador solar comprende preferentemente un panel fotovoltaico o una

10 agrupación de tales paneles, o bien, se trata de una fuente de energía equivalente, cuya definición de la característica eléctrica de tensión en función de la corriente $v(i)$ se expresa, ligando las coordenadas del punto de trabajo en ciertas condiciones de operación, tales como de temperatura, envejecimiento y nivel de iluminación en el panel solar, según la siguiente

15 relación desarrollada por *Tada y Carter* en los años ochenta del pasado siglo:

$$v = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad (2.1)$$

En la expresión (2.1), se define n como el número de células fotovoltaicas

20 en serie en cada una de las m columnas de células del panel. EL parámetro A es el llamado factor de forma de la característica y kT/q es un coeficiente que depende de la temperatura y del material de la célula. También intervienen en esta ecuación (2.1) los valores respectivos de la corriente de cortocircuito i_{SC} y de la corriente en la oscuridad i_R de una célula fotovoltaica

25 para unas condiciones de trabajo dadas.

Las coordenadas de corriente y potencia del punto de trabajo en un instante (t) vienen dadas respectivamente por las expresiones:

$$i(t) = m(i_{SC}(t) - i_R \left(\exp\left(\frac{qv(t)}{nAkT}\right) - 1\right))$$

$$P(t) = v(t)i(t)$$

De lo anterior se deriva que las coordenadas del Punto de Potencia Máxima (MPP) se pueden calcular resolviendo la ecuación:

$$\frac{dP}{dv} = \frac{nAkT}{q} \left(\text{Log}\left(\frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) - \frac{i_{MPP}}{mi_R \left(1 + \frac{i_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)} \right) = 0$$

5 Teniendo en cuenta que el valor de la corriente en la oscuridad i_R es muy pequeño en comparación con la corriente de cortocircuito i_{SC} y también es mucho menor que la corriente i_{MPP} , la ecuación (2.1) particularizada en el Punto de Potencia Máxima (MPP) se puede escribir según la fórmula siguiente:

$$v_{MPP} = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) \cong na \text{Log}\left(\frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) \quad (2.2)$$

10 Para establecer pues la tensión v_{MPP} , aparte de determinar las corrientes i_R e i_{SC} y la constante "a" que depende de las condiciones de trabajo, la temperatura y material de las células fotovoltaicas, el método que se propone calcula la corriente i_{MPP} .

15 Puesto que las coordenadas del Punto de Potencia Máxima (MPP) analíticamente corresponden al máximo de la función de potencia $P = vi$, esta condición de operación extrema implica que en el Punto de Potencia Máxima (MPP) es cierta la siguiente expresión:

$$dP = v_{MPP} di + i_{MPP} dv = 0 \quad (2.3)$$

20 o lo que es lo mismo :

$$\frac{dv}{di} = - \frac{v_{MPP}}{i_{MPP}} \quad (2.4)$$

A su vez, derivando la característica eléctrica de tensión (2.1) se obtiene:

$$\frac{dv}{di} = - \frac{n}{m} \frac{AkT}{qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}} = f(i_{MPP}) \quad (2.5)$$

Combinando (2.4) y (2.5), se escribe la tensión V_{MPP} como sigue:

$$V_{MPP} = \frac{n AkT}{m qi_R} \frac{i_{MPP}}{1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}} = n \frac{AkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) \quad (2.6)$$

o de forma equivalente :

5

$$\frac{i_{MPP}}{mi_R \left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)} - \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) = 0 \quad (2.7)$$

Para resolver la ecuación (2.7), pueden aplicarse dos métodos: uno numérico y otro gráfico.

El método numérico se basa en el algoritmo iterativo de Newton-Raphson.

10

Después de $j+1$ iteraciones en la variable i , la solución a la ecuación anterior (2.7) puede expresarse de la forma siguiente:

$$i^{(j+1)} = i^{(j)} - \frac{f(i^{(j)})}{\frac{df(i^{(j)})}{di}} \quad (2.8)$$

siendo :

$$f(i^{(j)}) = \frac{i^{(j)}}{mi_R \left(1 + \frac{mi_{SC} - i^{(j)}}{mi_R}\right)} - \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i^{(j)}}{mi_R}\right) \quad (2.9)$$

15

El método gráfico consiste en encontrar la intersección de dos curvas o funciones f_1 y f_2 , que siguen las expresiones analíticas:

$$f_1(i) = \text{tg}\theta = \frac{v}{i} = \frac{nAkT}{qi} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad (2.10)$$

y

20

$$f_2(i) = \left| \frac{dv}{di} \right| = \frac{n AkT}{m qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}} \quad (2.11)$$

Estas dos funciones f_1 y f_2 tienen un único punto de intersección que justamente corresponde con las coordenadas buscadas (V_{MPP}, I_{MPP}) en las condiciones de operación actuales o reales.

Con respecto al cálculo de la corriente en la oscuridad i_R de la célula fotovoltaica, la experiencia muestra que su valor sufre una escasa variación ya que está vinculado a la física de estado sólido de la propia célula y, por tanto, puede obtenerse fácilmente a partir de los datos del fabricante del panel solar (o fuente equivalente) dados para condiciones normales de trabajo (1 atmósfera y 27 °C). Específicamente, conocidos los valores en tales condiciones normales de trabajo para la tensión y corriente en el MPP (V_{MPP}, I_{MPP}), junto con la corriente de cortocircuito i_{SC} y la tensión de circuito abierto v_{OC} , puede tomarse como valor inicial de i_R :

$$i_R = \frac{i_{SC}}{\exp\left(\frac{AkT}{q}v_{OC}\right) - 1} \quad (2.12)$$

siendo:

$$A = \frac{q}{kT} \frac{2v_{MPP} - v_{OC}}{\frac{i_{MPP}}{i_{SC} - i_{MPP}} + \text{Log} \frac{i_{SC} - i_{MPP}}{i_{SC}}} \quad (2.13)$$

Con un funcionamiento regular, los datos acumulados de medidas van a permitir periódicamente al microprocesador (por ejemplo, cada 100 cambios de MPP) conocer la corriente de oscuridad real sin que esto tenga efecto sobre la tensión impuesta al panel solar. En cuanto a los otros parámetros implicados en la característica eléctrica de la fuente, la obtención de la corriente de cortocircuito i_{SC} y la constante "a" en las condiciones de trabajo actuales implica encontrar la solución a un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, que se puede resolver mediante un método gráfico y un algoritmo de cálculo iterativo, como el ya citado método de Newton-Raphson, a partir del valor inicial de la corriente en oscuridad i_R .

Para resolver el sistema de ecuaciones con dos incógnitas, se utilizan las coordenadas de dos puntos de la característica eléctrica del panel solar.

El primer punto M1 (v_1, i_1) es el actual punto de funcionamiento. Se caracteriza por su tensión v_1 que está siempre al valor del precedente MPP, el MPP "viejo", pero con una corriente i_1 que ha cambiado, ya que no es la del nuevo MPP ni la del viejo MPP. La medida de la diferencia entre los valores de corriente permite saber dónde se encuentra el nuevo MPP al mismo tiempo que indica una estimación de su distancia. Si la diferencia es positiva, la tensión del nuevo MPP es también mayor que la del viejo MPP; mientras que si es negativa, tendrá una tensión más baja.

Sabiendo así la dirección del nuevo MPP, el procedimiento de control cambia el punto de trabajo del panel solar imponiendo un escalón positivo (si la diferencia $i_1 - i_{\text{MPP "viejo"}}$ es positiva) o negativo (si la diferencia $i_1 - i_{\text{MPP "viejo"}}$ es negativa) a la referencia del regulador de potencia. La amplitud de este escalón es proporcional, con una constante k_v seleccionada por el usuario, a la amplitud de la diferencia de dichos valores de corriente. El segundo punto M2(v_2, i_2) es necesario para encontrar las coordenadas del nuevo MPP. El tercer punto M3(v_3, i_3) es calculado en consecuencia por el procesador, siendo sus coordenadas las del punto medio del segmento M1M2. El algoritmo utiliza la propiedad de que este segmento es paralelo a la tangente en el punto de la característica que tiene la misma tensión que el punto M3. Se puede escribir:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{y} \quad i_3 = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (2.14)$$

La pendiente p a la curva característica corresponde a:

$$\frac{dv}{di} = -\frac{n}{m} \frac{AkT}{qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i_3}{mi_R}} \cong -na \frac{1}{mi_{SC} - i_3} = p$$

(2.15)

Como M3 está sobre la característica, su tensión v_3 es:

$$v_3 = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_3}{mi_R}\right) \cong na \text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i_3}{i_R}\right) \quad (2.16)$$

Podemos eliminar la constante a haciendo:

$$na = -p(mi_{SC} - i_3) = \frac{v_3}{\text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i_3}{i_R}\right)} \quad (2.17)$$

5 El conocimiento de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) se hace resolviendo esta ecuación con el algoritmo iterativo de Newton-Raphson. Después de $j+1$ iteraciones se obtiene:

$$i_{SC}^{(j+1)} = i_{SC}^j - \frac{f(i_{SC}^{(j)})}{\frac{df(i_{SC}^{(j)})}{di_{SC}}} \quad (2.18)$$

sabiendo que:

$$f(i_{SC}^{(j)}) = \frac{v_3}{np\left(\frac{mi_{SC}^{(j)} - i}{mi_R}\right)} = -\text{Log}\left(\frac{mi_{SC}^{(j)} - i}{mi_R}\right) \quad (2.19)$$

10 Finalmente el último parámetro está dado por:

$$\frac{nAkT}{q} \approx na = -p(mi_{SC} - i_3) \quad (2.20)$$

15 Otro aspecto de la invención es un circuito de control del Punto de Potencia Máxima para fuentes de energía solar, cuya característica eléctrica tiene un único MPP para unas condiciones de trabajo en las que opera la fuente solar según cada momento, que comprende:

- Una unidad acondicionadora de potencia conectada entre la fuente solar y una red de carga del usuario, a través de una célula de potencia, para regular la tensión de salida de dicha fuente y suministrar una tensión óptima a la red de carga del usuario, con un máximo rendimiento.
- 20 - Y un módulo de cálculo rápido de las coordenadas del Punto de Potencia Máxima (MPP). El módulo de cálculo aquí propuesto está

conectado a la célula de potencia y comprende al menos un dispositivo electrónico programable, por ejemplo un microprocesador (PIC) que aplica el método descrito anteriormente para establecer V_{MPP} , sin interrumpir el suministro de tensión a la red de carga del usuario.

5 Adicionalmente, para tal función, el módulo de cálculo prevé unos medios de almacenamiento, una memoria integrada o no en el dispositivo electrónico programable, capacitados para guardar los datos necesarios en el establecimiento de la tensión V_{MPP} .

10 Dicho módulo de cálculo, que puede estar integrado o no en la unidad acondicionadora de potencia, incorpora convertidores analógico digital para recibir los puntos de medida de la característica eléctrica y unos convertidores digital analógico para entregar la tensión de referencia a la célula de potencia de dicha unidad acondicionadora de potencia, que constituyen una interfaz con la fuente solar.

15 El dispositivo electrónico programable, que puede ser un microprocesador de propósito general, un microprocesador de señal digital (DSP), un circuito integrado específico de aplicación (ASCI), una tarjeta programable (FPGA) o cualquier combinación de los anteriores, está encargado de establecer los valores actualizados continuamente del punto de trabajo del panel solar o de
20 la fuente de energía equivalente, accediendo a las características eléctricas reales de la fuente y obteniendo de ella, con uno, dos o a lo máximo tres puntos de medida, la tensión en el MPP. Esta tensión es la que utiliza a modo de referencia de la unidad acondicionadora de potencia, que convencionalmente puede tener una estructura convertidora de tipo serie o
25 de tipo paralelo, por ejemplo con topologías de reguladores de potencia conocidas tales como S3R o ASR.

Los datos del fabricante y relativos a la configuración del panel solar, junto con las medidas de su característica eléctrica, están guardados en una memoria o base de datos, con el fin de que el dispositivo electrónico
30 programable pueda acceder a ellos y ejecute los cálculos específicos y algoritmos iterativos para resolver las ecuaciones no lineales implicadas en

el procedimiento de control expuesto. El objetivo final es que la unidad acondicionadora de potencia regule la tensión de la fuente de energía siguiendo la señal de referencia.

5 Opcionalmente, el circuito comprende medios de recepción de las medidas instantáneas y un captador de corriente adaptado para medir el valor de la corriente en tiempo real.

10 Cuando la diferencia entre el valor de la corriente en tiempo real y el de la corriente I_{MPP} en el Punto de Potencia Máxima (MPP) sobrepasa un límite predeterminado, el dispositivo electrónico programable está así configurados para ajustar las nuevas coordenadas de trabajo volviendo a ejecutar el procedimiento de control del MPP, considerablemente rápido ya que requiere un solo punto de medida siempre en dirección del valor final del nuevo MPP, en la curva característica de la fuente.

15 Un último aspecto de la invención recoge un generador solar, comprendiendo una fuente para la que la curva característica eléctrica de tensión en función de la corriente tiene un único MPP correspondiente al máximo de la función de potencia $P = v_i$, que incorpora el circuito de control del Punto de Potencia Máxima para fuentes de energía solar según se ha definido anteriormente.

20

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una representación gráfica de la función de potencia $P = v_i$, la función $f1 = v/i$ y la función $f2 = \frac{dv}{di}$ de una fuente de energía solar que
30 presenta un Punto de Potencia Máxima (MPP), cuyas coordenadas de

tensión y corriente (V_{MPP} , I_{MPP}) se establecen de acuerdo al objeto de la invención.

5 Figura 2.- Muestra un diagrama de bloques del circuito de la invención conforme posibles realizaciones en unidad acondicionadora de potencia de topología serie.

Figura 3.- Muestra un diagrama de bloques del circuito de la invención conforme a otra posible realización en unidad acondicionadora de potencia de topología paralelo.

10 Figura 4.- Muestra una representación gráfica de la función de potencia $P = vi$ y una curva de corriente i en función de la tensión v que define la característica eléctrica de la fuente solar.

Figura 5.- Muestra una ilustración del método gráfico de búsqueda del MPP en la característica eléctrica de corriente-tensión de la fuente de energía para distintos puntos de trabajo, recogiendo tres puntos de medida.

15 Figura 6.- Muestra una ilustración del método gráfico de búsqueda del MPP en la característica eléctrica de corriente-tensión de la fuente de energía para distintos puntos de trabajo, recogiendo dos puntos de medida.

20 Figura 7.- Muestra un esquema de bloques de una estructura de regulador paralelo tipo S3R para la unidad acondicionadora de potencia, según un ejemplo de realización.

Figura 8.- Muestra un esquema de bloques de una estructura de regulador de tipo S4R para la unidad acondicionadora de potencia, según otro ejemplo alternativo de realización.

25 Figura 9.- Muestra un circuito de conexión de una pluralidad de unidades tipo S4R para el acondicionamiento de potencia, según otro ejemplo de realización.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A la vista de las figuras reseñadas, puede describirse como una posible opción práctica de realización de la invención un procedimiento de control del Punto de Potencia Máxima para fuentes de energía solar, cuya característica eléctrica de tensión (v) en función de la corriente (i) tiene un único Punto de Potencia Máxima (MPP) correspondiente al máximo de la función de potencia (P), $P = vi$, conforme se muestra en la Figura 1. La fuente (1) está conectada a una red de carga del usuario (4), por medio de una unidad acondicionadora de potencia (2), como se ilustra en las Figuras 2 y 3, respectivamente según el regulador de potencia se configura con una célula de potencia (3) en serie o en paralelo.

En tal fuente solar (1) se dispone una pluralidad de células fotovoltaicas distribuidas en un número de filas (n) y un número de columnas (m). Un módulo de cálculo (5) del Punto de Potencia Máxima (MPP) conectado a la célula de potencia (3) establece una tensión de referencia (V_{MPP}), resolviendo la ecuación:

$$V_{MPP} = na \text{Log} \left(\frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R} \right) \quad (2.21)$$

Para determinar el voltaje (V_{MPP}) del Punto de Potencia Máxima (MPP), el módulo de cálculo (5) realiza tres operaciones sucesivas:

i) Identificación de la nueva forma analítica $i(v)$ de la característica eléctrica, como la dibujada en la Figura 4, que presenta la fuente solar (1), de acuerdo a las ecuaciones:

$$i(t) = m(i_{SC}(t) - i_R \left(\exp\left(\frac{qv(t)}{nAkT}\right) - 1 \right))$$

$$P(t) = v(t)i(t)$$

Esta operación se completa cuando se tienen identificados o calculados los parámetros: factor de forma de la característica (A), corriente de cortocircuito (i_{SC}) y corriente en la oscuridad (i_R).

ii) Resolución de la condición extrema que caracteriza la existencia de

un máximo en la curva de potencia de la fuente solar (1), esto es, la condición dada por la expresión:

$$\frac{dP}{dv} = \frac{nAkT}{q} \left(\text{Log}\left(\frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) - \frac{i_{MPP}}{mi_R \left(1 + \frac{i_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)} \right) = 0$$

5 iii) Cálculo del voltaje (V_{MPP}) para su entrega la unidad acondicionadora de potencia (2) bajo la forma de una señal analógica de referencia para la regulación de la potencia, introduciendo los parámetros obtenidos tras las dos operaciones anteriores en la ecuación (2.21) que también se escribe en su forma exacta como:

$$V_{MPP} = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)$$

10 Una vez que el voltaje (V_{MPP}) es calculado, se utiliza su valor para entregar una señal de referencia, igual o proporcional al valor del voltaje (V_{MPP}), a la unidad acondicionadora de potencia (2) que controla la fuente solar (1), regulando la tensión de entrada a la célula de potencia (3) en el caso de una estructura convertidora de tipo serie o la tensión suministrada en el caso de un regulador paralelo. La etapa de potencia no necesita ninguna transformación para ser insertada en la regulación del Punto de Potencia Máxima (MPP). El módulo de cálculo (5) dispone de al menos un microprocesador que procesa datos provenientes de una base de datos y los valores de las coordenadas del punto de trabajo de la fuente solar (1), para establecer la tensión de referencia (V_{MPP}) que es la del Punto de Potencia Máxima (MPP). Así, dicha fuente (1) es forzada a trabajar permanentemente en el Punto de Potencia Máxima (MPP), si el usuario de la red lo requiere.

25 A fin de obtener la tensión (V_{MPP}), previamente el microprocesador del módulo de cálculo (5) calcula una serie de parámetros necesarios en la ecuación anterior, a saber:

- primer parámetro (i_R),
$$i_R = \frac{i_{SC0}}{\exp\left(\frac{A_0 k T_0}{q} v_{OC}\right) - 1} \quad (2.22)$$

con los datos del fabricante y utilizados en el inicio.

- segundo parámetro (mi_{SC}) que se calcula de manera iterativa como

$$f(i_{SC}^{(j)}) = \frac{v}{np\left(\frac{mi^{(j)}_{SC} - i}{mi_R}\right)} - \text{Log}\left(\frac{mi^{(j)}_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad (2.23)$$

5 - tercer parámetro (na)
$$na = -p(mi_{SC} - i) = \frac{v}{\text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i}{i_R}\right)} \quad (2.24)$$

definiendo una constante (a) dependiente del material y temperatura de las células fotovoltaicas de la fuente (1), la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la corriente en la oscuridad (i_R) de dicha fuente (1), así como establece un valor para la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP).

10 El cálculo del primer parámetro (i_R), i.e., la corriente en la oscuridad lo ejecuta el microprocesador al principio, cuando las células solares están nuevas; después, el valor de dicha corriente en la oscuridad es recalculado o actualizado periódicamente y almacenado en la memoria del microprocesador según de explica más adelante.

15 En las curvas corriente-tensión instantáneas del panel solar representadas en la Figura 5, se señala un punto (M0) correspondiente al "viejo" Punto de Potencia Máxima (MPP), teniendo un solo punto de medida (M2, M'2) según si la potencia del panel ha aumentado o disminuido. Esta información resulta del signo de la diferencia entre el valor de la corriente del MPP en el punto (M0) y su nuevo valor (i_1, i'_1) para el punto de medida (M1, M'1) respectivamente, siendo la tensión la del "viejo" MPP, $v_1 = v_0$. Gráficamente, el punto M2 está a la derecha de M1, si la corriente es mayor que la del "viejo" MPP, y M'2 está situado a izquierda de M'1 en caso contrario. Estos puntos serán medidos imponiendo un escalón de tensión de una amplitud
25 proporcional a la diferencia de valor de las corrientes. El microprocesador

organiza el cálculo de las coordenadas del tercer punto de medida (M_3 , M'_3), situado en el punto medio del segmento M_1M_2 o $M'_1M'_2$, a partir del cual se determinan las coordenadas del "nuevo" Punto de Potencia Máxima (MPP).

5 El cambio del valor de la corriente provoca que el microprocesador reciba la instrucción de buscar las coordenadas del nuevo MPP. Hay que tener en cuenta que las coordenadas del punto de funcionamiento del panel solar son conocidas en todo momento por el microprocesador.

10 Experimentalmente, se demuestra que el valor de la corriente en oscuridad (i_R) tiene una variación mínima porque dicho valor está vinculado a la física de estado sólido de la célula fotovoltaica. Por consiguiente, el microprocesador puede tomar como valor inicial en sus cálculos de dicha corriente en oscuridad (i_R), el obtenido a partir de ciertos datos del fabricante de la fuente solar (1), los cuales son: la corriente de cortocircuito en condiciones normales de presión y temperatura, es decir, a una atmósfera y
15 27 °C, la corriente y tensión en el Punto de Potencia Máxima (MPP) en dichas condiciones y la tensión de circuito abierto (v_{OC}) de la fuente (1). Con estos datos de partida del fabricante, el microprocesador calcula en la inicialización o el primer momento de utilización del sistema el valor de la
20 corriente en oscuridad (i_R).

Si se introduce este valor inicial de la corriente en oscuridad (i_R), como una entrada del microprocesador para realizar el primer cálculo del Punto de Potencia Máxima (MPP), este valor puede ser periódicamente actualizado, por ejemplo, cada cien cálculos del Punto de Potencia Máxima (MPP).
25 Puesto que cada búsqueda del Punto de Potencia Máxima (MPP) requiere únicamente en el caso peor tres puntos de medida (M_1 , M_2 , M_3) de la característica eléctrica de la fuente solar (1), basta resolver el sencillo sistema matemático correspondiente para obtener un nuevo valor de la corriente en oscuridad (i_R), como:

$$i_R = \frac{i_{SC}}{\exp\left(\frac{AkT}{q} v_{OC}\right) - 1} \quad (2.25)$$

$$\text{donde } A = \frac{q}{kT} \frac{2v_{MPP} - v_{OC}}{\frac{i_{MPP}}{i_{SC} - i_{MPP}} + \text{Log} \frac{i_{SC} - i_{MPP}}{i_{SC}}} \quad (2.26)$$

5 Más detalladamente, la actualización periódica del valor de la corriente en oscuridad (i_R) se realiza, a partir de las respectivas coordenadas (v_1, i_1) , (v_2, i_2) , (v_3, i_3) de, en el peor de los casos, tres puntos de medida (M_1, M_2, M_3), resolviendo:

$$i_1 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_1) - 1))$$

$$i_2 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - 1))$$

$$10 \quad i_3 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_3) - 1))$$

El parámetro correspondiente a la corriente de cortocircuito (i_{SC}) se elimina de las ecuaciones anteriores, haciendo:

$$i_1 - i_2 = mi_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - \exp(\frac{q}{nAkT} v_1))$$

$$i_1 - i_3 = mi_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_3) - \exp(\frac{q}{nAkT} v_1))$$

15 Y resolviendo mediante el método de Newton-Raphson u otro método equivalente la ecuación que se plantea:

$$(i_2 - i_3) \exp(\frac{q}{nAkT} v_1) - (i_1 - i_3) \exp(\frac{q}{nAkT} v_2) + (i_1 - i_2) \exp(\frac{q}{nAkT} v_3) = 0$$

se obtienen los valores actualizados de las corrientes en oscuridad (i_R) y de cortocircuito (i_{SC}) respectivamente:

$$i_R = \frac{i_1 - i_2}{\exp\left(\frac{q}{nAkT} v_2\right) - \exp\left(\frac{q}{nAkT} v_1\right)}$$

$$i_{SC} = \frac{i_1}{m} - i_R \left(\exp\left(\frac{q}{nAkT} v_1\right) - 1 \right)$$

La obtención de los otros dos parámetros (mi_{SC}, na) básicamente consiste en resolver un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, que se consigue procesando en el módulo de cálculo (5) los datos disponibles de dos puntos de trabajo (M_1, M_2) de la característica eléctrica, como se muestran en la Figura 6, donde el primer punto (M_1) se define por unas coordenadas (v_1, i_1). El voltaje (v_1) de dicho primer punto (M_1) corresponde al valor "antiguo" o ya conocido de la tensión en el Punto de Potencia Máxima (MPP), esto es, en el punto "antiguo" (M_0), pero la corriente (i_1) es diferente de la correspondiente al Punto de Potencia Máxima (MPP) porque varía al cambiar las condiciones de iluminación solar.

Asumiendo que este primer valor de la corriente (i_1) del primer punto (M_1) es mayor que el valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP), puede escribirse:

$$i_1 = m(i_{SC} - i_R (\exp\left(\frac{q}{nAkT} v_1\right) - 1)) \quad (2.27)$$

$$y \quad v_1 = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_1}{mi_R}\right) \cong na \text{Log}\left(\frac{mi_{SC} - i_1}{i_R}\right)$$

En la Figura 6, se aprecia un punto de partida (M_0) de la característica eléctrica, cuyas coordenadas son las del "viejo MPP" y que se desplaza a $M_1(v_1, i_1)$ con el cambio de MPP. Por consiguiente, el "futuro" valor del Punto de Potencia Máxima (MPP), que determina un nuevo punto (M_2) de la característica, está situado a la derecha del primer punto (M_1). Por el contrario, suponiendo que el primer valor de la corriente (i_1) es menor en

amplitud que la del "antiguo" Punto de Potencia Máxima (MPP), el "futuro" valor está situado a la izquierda del primer punto (M_0) y determina otro punto (M'_1) de la característica eléctrica. Añadiendo un pequeño incremento positivo (Δv_1) a la primera tensión (v_1) que está sirviendo de referencia a la unidad acondicionadora de potencia (2), se mide el segundo punto (M_2) en la característica eléctrica, cuyas coordenadas (v_2, i_2) se dibujan en la misma Figura 6. Este segundo punto (M_2) corresponde a un punto intermedio directamente en la vecindad del Punto de Potencia Máxima (MPP) o es ya el mismo, obtenido según el signo de la variación entre el valor previo de la corriente almacenado en la memoria y el valor medido de la corriente, que cuando es negativo puede corresponderse a otro segundo punto (M'_2). Medido un segundo punto (M_2) en la característica eléctrica, se puede establecer una segunda ecuación junto con (2.27) para calcular los dos parámetros (m, i_{SC}), o lo que es lo mismo, los desconocidos valores del factor de forma de la característica (A) y la corriente de cortocircuito (i_{SC}). Puesto que en el ejemplo de la Figura 6 el Punto de Potencia Máxima (MPP) "futuro" está a la derecha del "antiguo" (M_0), el segundo punto (M_2) se selecciona a la derecha del primer punto (M_1) y puede escribirse:

$$i_2 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - 1))$$

con lo que al hacer:

$i_1 - i_2 = m i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - \exp(\frac{q}{nAkT} v_1))$ se puede eliminar la corriente de cortocircuito (i_{SC}). Y como la corriente en oscuridad (i_R) es conocida, se puede escribir:

$$f(\frac{q}{nAkT}) = \frac{i_1 - i_2}{i_R} - m i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - \exp(\frac{q}{nAkT} v_1)) = 0$$

Esta última ecuación puede resolverse por cualquier método de análisis numérico aplicable, por ejemplo aplicando el método de Newton-Raphson queda:

$$f' \left(\frac{q}{nAkT} \right) = -v_2 \left(\exp \left(\frac{q}{nAkT} v_2 \right) + v_1 \exp \left(\frac{q}{nAkT} v_1 \right) \right)$$

y después de $j+1$ iteraciones, el valor de $\frac{q}{nAkT}$ puede extraerse haciendo:

$$\frac{q}{nAkT} = \frac{q}{nA^j kT} - \frac{i_1 - i_2}{i_R} \frac{\exp \left(\frac{q}{nA^j kT} v_2 \right) + \exp \left(\frac{q}{nA^j kT} v_1 \right)}{v_2 \left(\exp \left(\frac{q}{nA^j kT} v_2 \right) + v_1 \exp \left(\frac{q}{nA^j kT} v_1 \right) \right)}$$

Y después el valor de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) se puede obtener inmediatamente resolviendo:

5

$$i_{SC} = \frac{1}{m} (i_1 + i_R (\exp \left(\frac{q}{nAkT} v_1 \right) - 1)) \quad (2.28)$$

En el caso alternativo, en el que las variaciones en la iluminación de la fuente solar (1) llevan a otro punto (M'_1) de operación donde la corriente es menor es que en el punto "antiguo" (M_0), como se dijo anteriormente, se puede medir otro segundo punto (M'_2) que está a la izquierda del punto "antiguo" (M_0) en la característica eléctrica. Sin embargo, el procedimiento para obtener los valores del factor de forma de la característica (A) y la corriente de cortocircuito (i_{SC}) no cambia, es el mismo explicado en el caso anterior.

10

15

La exactitud y velocidad en los cálculos anteriores depende de la apropiada elección de esos segundos puntos (M_2 , M'_2) de medida. En la práctica, se sabe, por la experiencia con los paneles solares que se fabrican actualmente, que un cambio en las condiciones de iluminación sólo afecta levemente el parámetro del factor de forma de la característica (A). Lo mismo puede decirse de la temperatura (T), ya que la alta inercia termal del panel no permite una transición termal abrupta durante el cambio de iluminación. En definitiva, puede considerarse que estos factores (A, T) permanecen invariables durante el cambio en las condiciones de iluminación

20

25

de la fuente solar (1), al menos como una aproximación válida al definir las condiciones iniciales en el método de búsqueda del Punto de Potencia Máxima (MPP) que se está describiendo. Además, puesto que el tiempo de computación que lleva el microprocesador para ejecutar este método es del orden de pocos cientos de microsegundos, la hipótesis anterior puede aceptarse para ese intervalo temporal.

Por consiguiente, el segundo punto de medida (M_2, M'_2) que se necesita puede tomarse como el punto de máxima potencia establecido cuando el valor de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) aún no ha sido identificado, aproximando pues el valor de tensión en dicho punto (v_2) por el que da la siguiente expresión:

$$V_2 \approx V_{MPP} = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)$$

habiendo calculado la corriente de cortocircuito (i_{SC}) con las coordenadas (v_1, i_1) del primer punto (M_1) de medida según la ecuación (2.28).

Por otra parte, gráficamente, la derivada de la expresión (2.14) corresponde a obtener la pendiente (p) de la recta $M_1 M_2$, que es tangente a la curva en un tercer punto (M_3) de coordenadas (v_3, i_3) correspondientes al punto medio del segmento $M_1 M_2$, o sea:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$i_3 = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

y dicha pendiente (p) viene dada por:

$$\frac{dv}{di} = -na \frac{1}{mi_{SC} - i} = p \quad (2.29)$$

Eliminando la constante (a) entre las ecuaciones (2.14) y (2.16) se llega a la expresión:

$$na = -p(mi_{SC} - i) = \frac{v}{\text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i}{i_R}\right)} \quad (2.30)$$

5 La extracción de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) de la característica eléctrica es posible utilizando el microprocesador para aplicar el método de cálculo iterativo de Newton-Raphson, con el que tras un número de iteraciones $j+1$ puede obtenerse:

$$i_{SC}^{(j+1)} = i_{SC}^{(j)} - \frac{f(i_{SC}^{(j)})}{\frac{df(i_{SC}^{(j)})}{di_{SC}}} \quad (2.31)$$

10 siendo:

$$f(i_{SC}^{(j)}) = \frac{v}{np\left(\frac{mi^{(j)}_{SC} - i}{mi_R}\right)} - \text{Log}\left(\frac{mi^{(j)}_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad (2.32)$$

15 Después de determinar el valor en la característica de trabajo la corriente de cortocircuito (i_{SC}), el microprocesador puede saber el valor de la constante (a) sencillamente con la operación:

$$na = -p(mi_{SC} - i) = \frac{v}{\text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i}{i_R}\right)} \quad (2.33)$$

20 Igualmente, para el cálculo en el Punto de Potencia Máxima (MPP) de la corriente (i_{MPP}), el microprocesador puede aplicar el algoritmo iterativo de Newton-Raphson, con lo cual:

$$i_{MPP}^{(j+1)} = i^{(j)} - \frac{f(i_{MPP}^{(j)})}{\frac{df(i_{MPP}^{(j)})}{di}} \quad (2.34)$$

siendo :

$$f(i_{MPP}^{(j)}) = \frac{i_{MPP}^{(j)}}{mi_R \left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}^{(j)}}{mi_R}\right)} - \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}^{(j)}}{mi_R}\right) \quad (2.35)$$

Gráficamente, el cálculo en el Punto de Potencia Máxima (MPP) de la corriente (i_{MPP}), se traduce en obtener el punto de intersección entre las curvas (f_1) y (f_2), el cual es único y corresponde al valor de corriente que hace máximo en la función de potencia (P) y es el buscado Punto de Potencia Máxima (MPP), de acuerdo se ilustra en la Figura 1.

Seguindo estos pasos que definen este procedimiento de control del Punto de Potencia Máxima (MPP), el módulo de cálculo (5) es capaz de predecir continuamente las coordenadas (V_{MPP} , I_{MPP}), sin perturbar la tensión suministrada a la red de carga del usuario (4), que puede constar de un banco de baterías, un motor o una bomba DC,... Este procedimiento es válido incluso cuando el Punto de Potencia Máxima (MPP) se modifica por cambios medioambientales de iluminación, temperatura, etc.

La unidad acondicionadora de potencia (2) regula, siguiendo la señal de referencia suministrada por el módulo de cálculo (5) y que establece una interfaz con la fuente solar y dicha unidad acondicionadora de potencia (2). Este módulo de cálculo (5) independiente entrega en tiempo real a la célula de potencia (3) un valor de voltaje (V_{MPP}) en correspondencia, esto es, rigurosamente proporcional o igual al valor instantáneo de la tensión del Punto de Potencia Máxima (MPP) en términos de amplitud y transitorio. La tensión así regulada es la tensión de entrada de una célula de potencia (3) de tipo serie o la tensión suministrada a la red del usuario (4) por una estructura de potencia de tipo paralelo.

La Figura 7 representa el caso particular en que la unidad de acondicionamiento de potencia (2) tiene una estructura de un regulador

secuencial conmutado paralelo, por ejemplo del conocido tipo S3R. El principio básico es realizar un conmutador electrónico que conectado en paralelo con un panel fotovoltaico funciona de dos modos: en circuito abierto y en cortocircuito. El regulador S3R aísla los paneles solares de los usuarios durante una parte del período de conmutación y fuerza dichos paneles solares, generadores de unas corrientes ($I_{GS1}, I_{GS2}, \dots, I_{GSn}$) a trabajar en un voltaje regulado, tal como el del MPP obtenido en esta invención. La ventaja que supone la utilización del regulador S3R es la minimización de la potencia disipada en todos los interruptores. Dado que estos conmutadores tienen solamente dos estados de funcionamiento, el panel solar estará bien en cortocircuito y, por tanto, la corriente de cortocircuito (i_{SC}) es automáticamente conocida, o bien, suministrando energía a la red de carga (4) de los usuarios a través del diodo conectado en serie. En este caso las coordenadas del primer punto (M1) de trabajo son también automáticamente conocidas. Y, en consecuencia, todos los parámetros están automáticamente disponibles al conocerse las coordenadas de dicho primer punto de trabajo (M1). El regulador S3R también puede aplicarse en una estructura en serie, forzando los paneles solares a operar a la tensión de referencia en circuito abierto.

En el caso de utilizar una unidad del tipo S3R con topología en paralelo, como la mostrada en la Figura 7, el cálculo del MPP es inmediato y no se necesita recurrir a un solo punto de medida, al ser siempre conocido el valor de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y el valor del parámetro constante (a) es calculado directamente a partir de la corriente (i_1) medida continuamente, del punto de trabajo (M1) del panel solar, con la fórmula:

$$na = -p(mi_{SC} - i_1) \quad (2.36)$$

El factor de forma de la característica (A) también puede obtenerse directamente, ya que las coordenadas del punto de trabajo (M1) son conocidas, mediante la fórmula:

$$v_1 = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_1}{mi_R}\right) \quad (2.37)$$

Alternativamente, en el caso de una unidad acondicionadora de potencia (2) con una estructura conmutada de potencia de tipo serie, tal como el conocido regulador ASR, el dato directamente disponible es la tensión de circuito abierto (v_{OC}) y para conocer el primer punto de trabajo (M1), se sabe que cuando el conmutador en serie está en conducción conectando el panel solar a los usuarios, existe una relación que vincula la tensión de circuito abierto (v_{OC}) con la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la constante (a) de la característica eléctrica, que es la siguiente:

$$v_{OC} = \frac{nAkT}{q} \text{Log} \frac{i_{SC}}{i_R} = na \text{Log} \frac{i_{SC}}{i_R} \quad (2.38)$$

Entonces, el microprocesador puede calcular fácilmente la solución del sistema de dos ecuaciones (2.37) y (2.38) para obtener el primer punto (M1) de la característica de la fuente solar (1). El cálculo del resto de los parámetros de la característica eléctrica no depende de las medidas de tensión y corriente del segundo punto (M2) para generar la recta M1'M2 o M1''M2" vistas en la Figura 6. Y para actualizar el valor de la corriente en oscuridad (i_R) basta con la medida en cada período de actualización de dos puntos (M1, M2) de coordenadas (v_1 , i_1) y (v_2 , i_2) respectivamente, pudiéndose escribir:

$$i_1 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_1) - 1))$$

$$i_2 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - 1))$$

y extraer el valor de la corriente en oscuridad (i_R) de las dos ecuaciones anteriores, haciendo:

$$\frac{i_{SC} - i_1}{i_{SC} - i_2} \cong \exp\left(\frac{q}{nAkT}(v_1 - v_2)\right) \quad \text{que lleva a:} \quad \frac{q}{nAkT} = \frac{1}{(v_1 - v_2)} \text{Ln}\left(\frac{i_{SC} - i_1}{i_{SC} - i_2}\right)$$

$$\text{resultando: } i_R = \frac{i_{SC} - i_1}{\exp\left(\frac{q}{nAkT} v_1\right)}.$$

5 Otra posible topología que puede usarse para implementar la unidad de acondicionamiento de potencia (2) es la conocida como tipo S4R, representada como un esquema de bloques en la Figura 8, con la conexión a una batería (6), una unidad de control de la batería (7) y un descargador de batería (8). Esta unidad de acondicionamiento de potencia (2) de tipo S4R incluye una célula de potencia serie (3') y una célula de potencia paralelo (3"). Varias de estas unidades S4R (2a, 2b, ..., 2n) pueden conectarse siguiendo el esquema de la 10 Figura 9, controladas por un solo módulo de cálculo (5). Conectadas a los respectivos paneles solares que componen la fuente solar (1) están las células de potencia serie y paralelo de cada unidad S4R (2a, 2b, ..., 2n), y entre la batería (6) y la red de carga (4) se conecta en serie el descargador de batería 15 (8) que funciona en modo muestreo y aísla esa batería (6) de los paneles solares y de la red.

Los términos en que se ha redactado esta memoria deberán ser tomados siempre en sentido amplio y no limitativo.

20 Algunas realizaciones preferentes de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes que se incluyen seguidamente.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de control del Punto de Potencia Máxima para fuentes de energía solar, cuya característica eléctrica de tensión (v) en función de la corriente (i) tiene un único Punto de Potencia Máxima (MPP) correspondiente al máximo de la función de potencia $P = vi$, estando la fuente conectada a una red de carga del usuario (4) por medio de una unidad acondicionadora de potencia (2) y comprendiendo al menos un panel fotovoltaico constituido por una pluralidad de células distribuidas en un número de filas (n) y un número de columnas (m), **caracterizado** porque establece una tensión de referencia (V_{MPP}) en correspondencia al valor en tiempo real de la tensión en el Punto de Potencia Máxima (MPP), a partir de menos de cuatro puntos de medida (M1, M2, M3) de la característica eléctrica, siendo la tensión de referencia (V_{MPP}) utilizada por la unidad acondicionadora de potencia (2) para regular la tensión de salida de la fuente solar (1) sin interrumpir el suministro de tensión a la red de carga del usuario (4).

2.- Procedimiento según reivindicación 1, **caracterizado** porque adicionalmente calcula el valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP) resolviendo la ecuación diferencial

$$dP = V_{MPP} di + I_{MPP} dv = 0$$

3.- Procedimiento según reivindicación 2, **caracterizado** porque la tensión de referencia (V_{MPP}) se calcula a partir del valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP) siguiendo la fórmula

$$V_{MPP} = na \text{Log} \left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R} \right)$$

procedente de particularizar la característica eléctrica al Punto de Potencia Máxima (MPP), función de una constante (a) dependiente del material y temperatura de las células fotovoltaicas, la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la

corriente en la oscuridad (i_R) de dichas células del panel.

4.- Procedimiento según reivindicación 3, **caracterizado** porque, siendo las coordenadas de tensión y corriente de los puntos de la característica (M1, M2, M3) respectivamente (v_1, i_1), (v_2, i_2) y (v_3, i_3), usa un solo punto (M2) para calcular:

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{y} \quad i_3 = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

- la pendiente (p) de la tangente a la característica:

$$\frac{dv}{di} = -\frac{n AkT}{m qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i_3}{mi_R}} = -na \frac{1}{mi_{SC} - i_3} = p$$

10 y
$$na = -p(mi_{SC} - i_3) = \frac{v_3}{\text{Log}\left(\frac{i_{SC} - i_3}{i_R}\right)}$$

5.- Procedimiento según reivindicación 4, **caracterizado** porque el valor instantáneo de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la constante (a) se calcula mediante un método de cálculo iterativo y un método gráfico, a partir de un valor inicial determinado de la corriente en oscuridad (i_R).

6.- Procedimiento según reivindicación 5, **caracterizado** porque el método de cálculo iterativo es el de Newton-Raphson.

20 7.- Procedimiento según reivindicaciones 5 ó 6, **caracterizado** porque el método gráfico consiste en determinar la intersección entre dos curvas función de la corriente (i) de la fuente solar, que son

primera curva (f_1),
$$f_1 = \frac{v}{i} = \frac{nAkT}{qi} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad \text{y}$$

segunda curva (f_2),

$$f_2 = \left| \frac{dv}{di} \right| = \frac{n}{m} \frac{AkT}{qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}}$$

8.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizado** porque el valor inicial de la corriente en oscuridad (i_R) se determina a partir de unos datos conocidos de la fuente solar y que son

- tensión y corriente en el Punto de Potencia Máxima (MPP) para unas condiciones normales de presión y temperatura,
- tensión de circuito abierto para las condiciones normales de presión y temperatura, y
- corriente de cortocircuito para las condiciones normales de presión y temperatura.

9.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, **caracterizado** porque el valor inicial de la corriente en oscuridad (i_R) se actualiza periódicamente a partir de los valores calculados de la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la constante (a).

10.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el cálculo de la tensión de referencia (V_{MPP}) comprende los pasos siguientes:

primer paso: identificar una forma analítica en función del tiempo (t) de la característica eléctrica de la fuente solar (1), de acuerdo a las ecuaciones:

$$i(t) = m(i_{SC}(t) - i_R (\exp(\frac{qv(t)}{nAkT}) - 1))$$

$$P(t) = v(t)i(t)$$

con unos valores de factor de forma de la característica (A), corriente de cortocircuito (i_{SC}) y corriente en la oscuridad (i_R) calculados.

segundo paso: resolver la ecuación diferencial:

$$\frac{dP}{dv} = \frac{nAkT}{q} \left(\text{Log}\left(\frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right) - \frac{i_{MPP}}{mi_R \left(1 + \frac{i_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)} \right) = 0$$

tercer paso: generar una señal analógica de referencia proporcional al valor de tensión que se calcula según la expresión:

$$v_{MPP} = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right).$$

5

11.- Procedimiento según reivindicación 10, **caracterizado** porque los valores de factor de forma de la característica (A), corriente de cortocircuito (i_{SC}) y corriente en la oscuridad (i_R) se calculan a partir de tres puntos de medida (M1, M2, M3) de la característica eléctrica.

10

12.- Procedimiento según reivindicación 10, **caracterizado** porque los valores de factor de forma de la característica (A) y la corriente de cortocircuito (i_{SC}) se calculan a partir de dos puntos de medida (M1, M2) de la característica eléctrica, y porque el valor de la corriente en la oscuridad (i_R) es inicialmente igual al valor dado por el fabricante de la fuente solar (1) y porque el valor de la corriente en la oscuridad (i_R) es periódicamente actualizado a partir de las medidas obtenidas.

15

13.- Procedimiento según reivindicación 12, **caracterizado** porque el valor de la corriente en oscuridad (i_R) se actualiza periódicamente resolviendo un sistema de tres ecuaciones cuyas incógnitas son el factor de forma de la característica (A), la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la corriente en la oscuridad (i_R), que viene dado por:

20

$$i_1 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_1) - 1))$$

25

$$i_2 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - 1))$$

$$i_3 = m(i_{SC} - i_R (\exp(\frac{q}{nAkT} v_3) - 1))$$

donde los dos puntos de medida (M1, M2) de la característica eléctrica están definidos por unas coordenadas de corriente y tensión eléctricas (v1, i1) y (v2, i2) respectivamente; junto con unas coordenadas de corriente y tensión eléctricas (v3, i3) correspondientes a un punto de trabajo (M3) elegido a partir de dichos dos puntos de medida (M1, M2) de la característica eléctrica.

14.- Procedimiento según reivindicación 13, **caracterizado** porque el valor de la corriente en oscuridad (i_R) se actualiza periódicamente según la siguiente expresión:

$$i_R = \frac{i_1 - i_2}{\exp(\frac{q}{nAkT} v_2) - \exp(\frac{q}{nAkT} v_1)}$$

a partir de los dos puntos de medida (M1, M2) de la característica eléctrica definidos por unas coordenadas de corriente y tensión eléctricas (v1, i1) y (v2, i2) respectivamente.

15.- Circuito de control del Punto de Potencia Máxima para fuentes de energía solar, siendo una fuente solar (1) que comprende al menos un panel fotovoltaico constituido por una pluralidad de células distribuidas en un número de filas (n) y un número de columnas (m), dotada la fuente solar (1) de una característica eléctrica de tensión (v) en función de la corriente (i) que tiene un único Punto de Potencia Máxima (MPP) correspondiente al máximo de la función de potencia $P = vi$, y que comprendiendo dicho circuito

- una unidad acondicionadora de potencia (2) conectada entre la fuente solar (1) y una red de carga del usuario (4), a través de una célula de potencia (3), para regular la tensión de salida de la fuente solar (1) y suministrar tensión a la red de carga del usuario (4),
- un módulo de cálculo (5) del Punto de Potencia Máxima (MPP)

conectado a la célula de potencia (3),

se caracteriza porque el módulo de cálculo (5) comprende

- al menos un dispositivo electrónico programable configurado para establecer, sin interrumpir el suministro de tensión a la red de carga del usuario (4), una tensión de referencia (V_{MPP}) en correspondencia al valor en tiempo real de la tensión en el Punto de Potencia Máxima (MPP);

- unos medios de almacenamiento asociados al dispositivo electrónico programable capacitados para guardar los datos necesarios en el establecimiento de la tensión de referencia (V_{MPP});

- una interfaz con la fuente solar (1) constituida por unos convertidores analógico digital para recibir los puntos de medida (M1, M2, M3) de la característica eléctrica y unos convertidores digital analógico para entregar la tensión de referencia (V_{MPP}) a la célula de potencia (3).

16.- Circuito según reivindicación 15, **caracterizado** porque la unidad acondicionadora de potencia (2) tiene la célula de potencia (3) conectada en serie.

17.- Circuito según reivindicación 15, **caracterizado** porque la unidad acondicionadora de potencia (2) tiene la célula de potencia (3) conectada en paralelo.

18.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17 **caracterizado** porque la célula de potencia (3) tiene una topología S3R.

19.- Circuito según reivindicación 18, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para establecer la tensión de referencia (V_{MPP}) resolviendo:

$$V_{MPP} = \frac{nAkT}{q} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R}\right)$$

con unos valores iniciales de factor de forma de la característica (A) y corriente en la oscuridad (i_R), junto con un valor de corriente de cortocircuito (i_{SC}) obtenido directamente y que corresponde a:

5 - si la célula de potencia (3) está conectada en paralelo, a un valor de corriente medido cuando la célula de potencia (3) pone en cortocircuito la fuente solar (1);

· si la célula de potencia (3) está conectada en serie, a un valor calculado según la expresión: $i_{SC} = i_R \left(\exp\left(\frac{q}{nAkT} v_{OC}\right) - 1 \right)$ y medido un valor de tensión de circuito abierto (v_{OC}) cuando la célula de potencia (3) pone en
10 circuito abierto la fuente solar (1).

20.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17 **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para establecer la tensión de referencia (V_{MPP}) a partir de un solo punto de
15 medida (M2), utilizando un punto previo de trabajo (M1) y obteniendo internamente un tercer punto de la característica (M3) a partir de los dos puntos (M1, M2) de trabajo y de medida.

21.- Circuito según reivindicación 20, **caracterizado** porque el dispositivo
20 electrónico programable está configurado para obtener internamente el tercer punto de la característica (M3) determinando un punto medio entre los dos puntos (M1, M2) de trabajo y de medida.

22.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 21 **caracterizado**
25 porque el dispositivo electrónico programable está integrado en la unidad acondicionadora de potencia (2).

23.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 22 **caracterizado** porque los medios de almacenamiento consisten en una memoria integrada

en el dispositivo electrónico programable.

24.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 23 **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable se selecciona entre un
5 microprocesador de propósito general, un microprocesador de señal digital (DSP), un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) y una tarjeta programable (FPGA) o cualquier combinación de los anteriores.

25.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 24 **caracterizado**
10 porque el dispositivo electrónico programable está configurado para calcular el valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP) resolviendo la ecuación diferencial

$$dP = V_{MPP} di + I_{MPP} dv \quad (2.49)$$

26.- Circuito según reivindicación 25, **caracterizado** porque el dispositivo
15 electrónico programable está configurado para usar el valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP) en el establecimiento de la tensión de referencia (V_{MPP}) calculándola siguiendo la fórmula

$$V_{MPP} = na \text{Log} \left(1 + \frac{mi_{SC} - i_{MPP}}{mi_R} \right) \quad (2.50)$$

20 procedente de particularizar la característica eléctrica al Punto de Potencia Máxima (MPP), función de una constante (a) dependiente del material y temperatura de las células fotovoltaicas, la corriente de cortocircuito (i_{SC}) y la corriente en la oscuridad (i_R) de dichas células del panel.

27.- Circuito según reivindicación 26, **caracterizado** porque, siendo las
25 coordenadas de tensión y corriente de los puntos (M1, M2, M3) respectivamente ($v1, i1$), ($v2, i2$) y ($v3, i3$), el dispositivo electrónico programable está configurado para calcular el valor de dos parámetros que son

30 -primer parámetro (mi_{SC}),

-segundo parámetro (n_a)

conociendo la corriente en oscuridad (i_R) con los datos del fabricante al inicio y actualizándola periódicamente con los datos almacenados.

5 28.- Circuito según reivindicación 27, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para calcular el valor los dos primeros parámetros ($m_{i_{SC}}$, n_a) mediante un método iterativo y un método gráfico, a partir de un valor inicial determinado de la corriente en oscuridad (i_R).

10 29.- Circuito según reivindicación 28, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para ejecutar el método de cálculo iterativo de Newton-Raphson.

15 30.- Circuito según reivindicaciones 28 ó 29, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para ejecutar el método de cálculo gráfico que consiste en determinar la intersección entre dos curvas función de la corriente (i) de la fuente solar, que son

primera curva (f_1),
$$f_1 = \frac{v}{i} = \frac{nAkT}{qi} \text{Log}\left(1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}\right) \quad (2.51) \quad \text{y}$$

20 segunda curva (f_2),
$$f_2 = \left| \frac{dv}{di} \right| = \frac{n}{m} \frac{AkT}{qi_R} \frac{1}{1 + \frac{mi_{SC} - i}{mi_R}} \quad (2.52)$$

25 31.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 28 a 30, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para determinar el valor inicial de la corriente en oscuridad (i_R) a partir de unos datos conocidos de la fuente solar guardados en los medios de almacenamiento y que son

- tensión y corriente en el Punto de Potencia Máxima (MPP) para unas condiciones normales de presión y temperatura,

- tensión de circuito abierto para las condiciones normales de presión y temperatura, y
- corriente de cortocircuito para las condiciones normales de presión y temperatura.

5

32.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 28 a 31, **caracterizado** porque el dispositivo electrónico programable está configurado para actualizar periódicamente el valor inicial de la corriente en oscuridad (i_R) a partir de los valores calculados de los dos parámetros (m_{isc} , n_a).

10

33.- Circuito según cualquiera de las reivindicaciones 28 a 32, **caracterizado** porque comprende un captador de corriente adaptado para medir el valor de la corriente (i) en tiempo real y porque el dispositivo electrónico programable está configurado para realizar el procedimiento de control del Punto de Potencia Máxima (MPP) definido según las reivindicaciones 1 a 14, cuando la diferencia entre dicho valor de la corriente (i) en tiempo real el valor de la corriente (I_{MPP}) en el Punto de Potencia Máxima (MPP) sobrepasa un límite predeterminado.

15

20

34.- Generador solar **caracterizado** porque incorpora el circuito definido según las reivindicaciones 15 a 33.

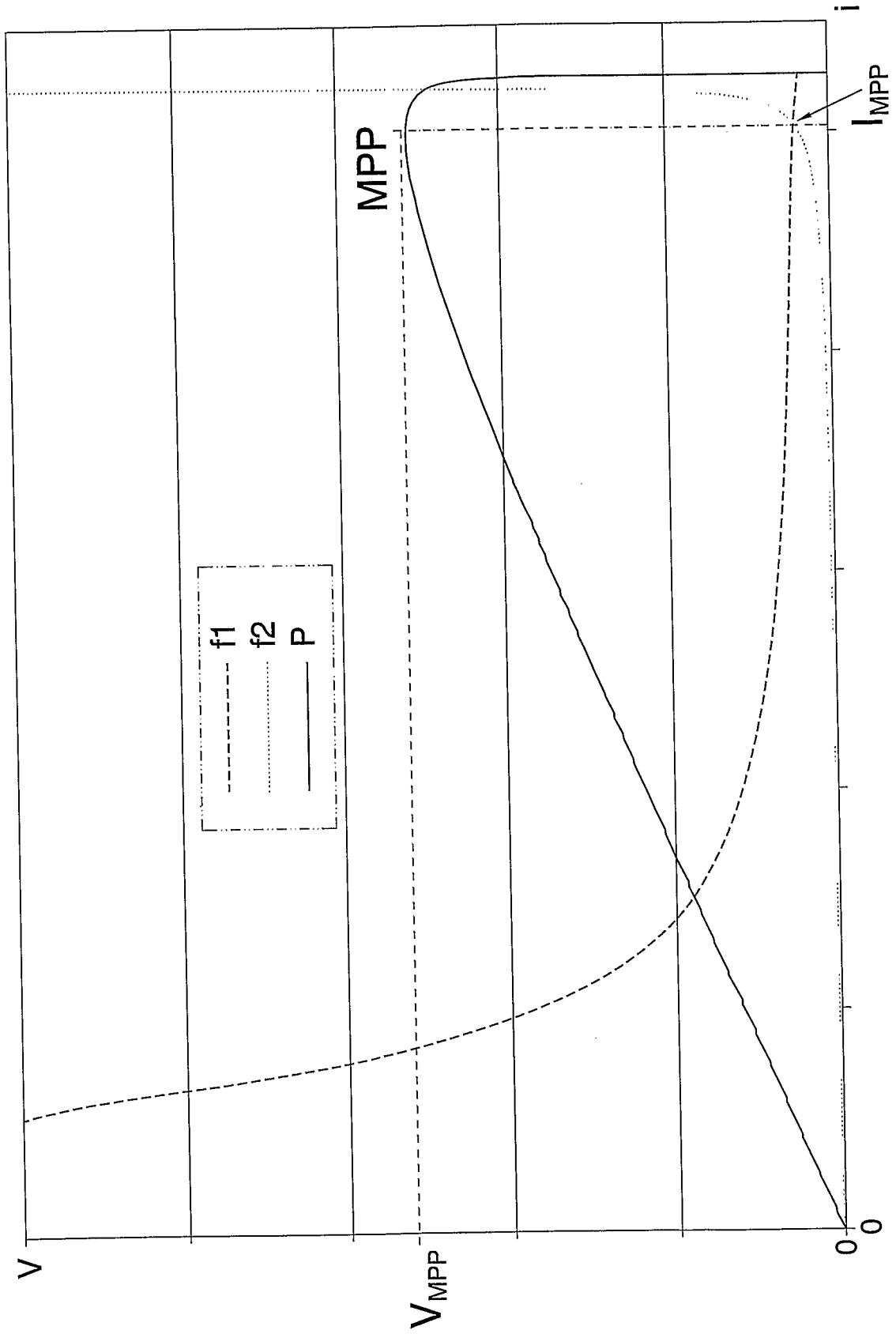


FIG. 1

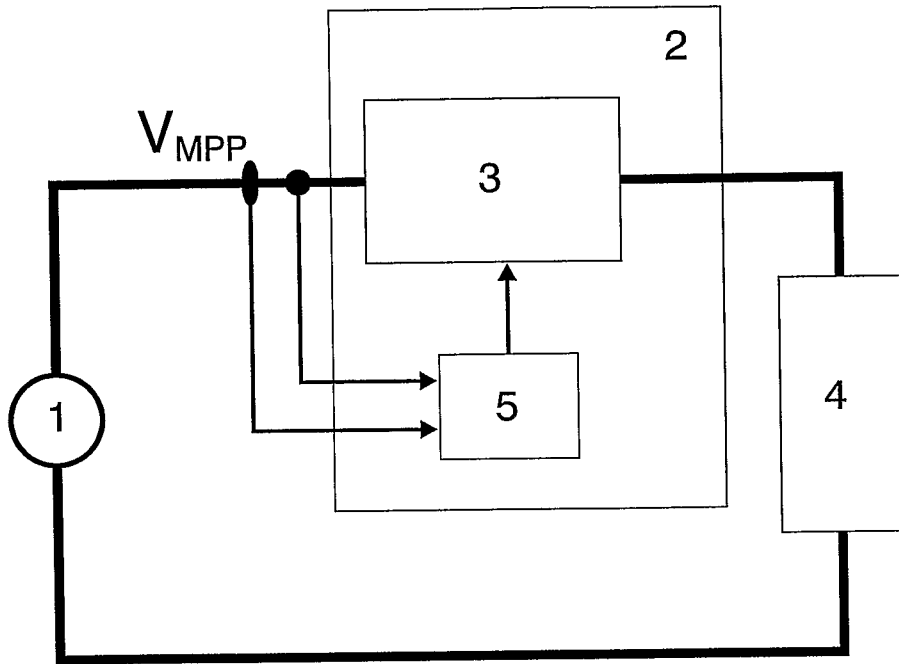


FIG. 2

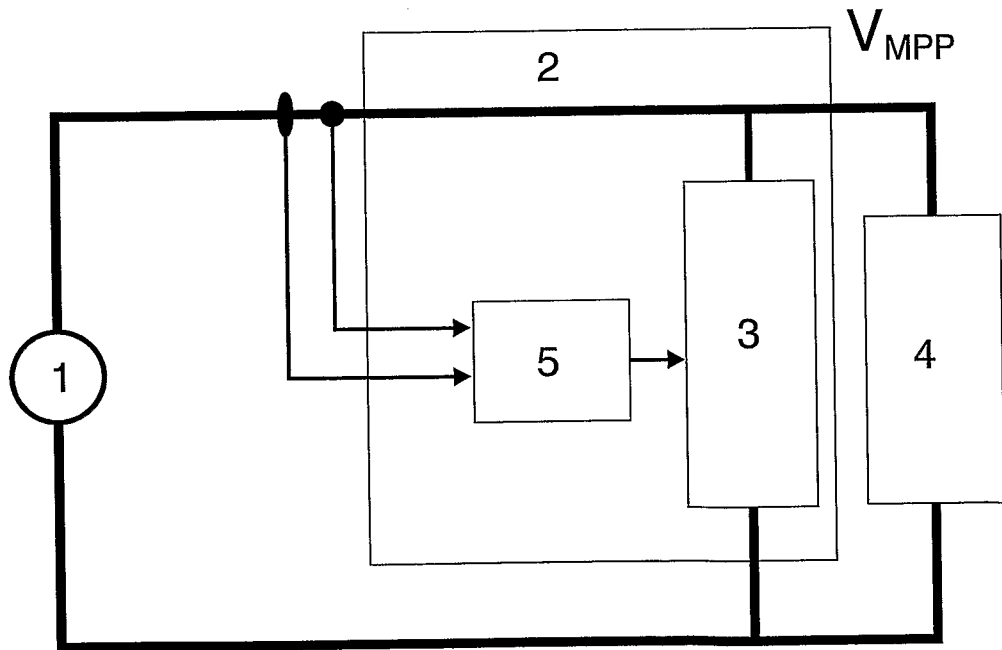


FIG. 3

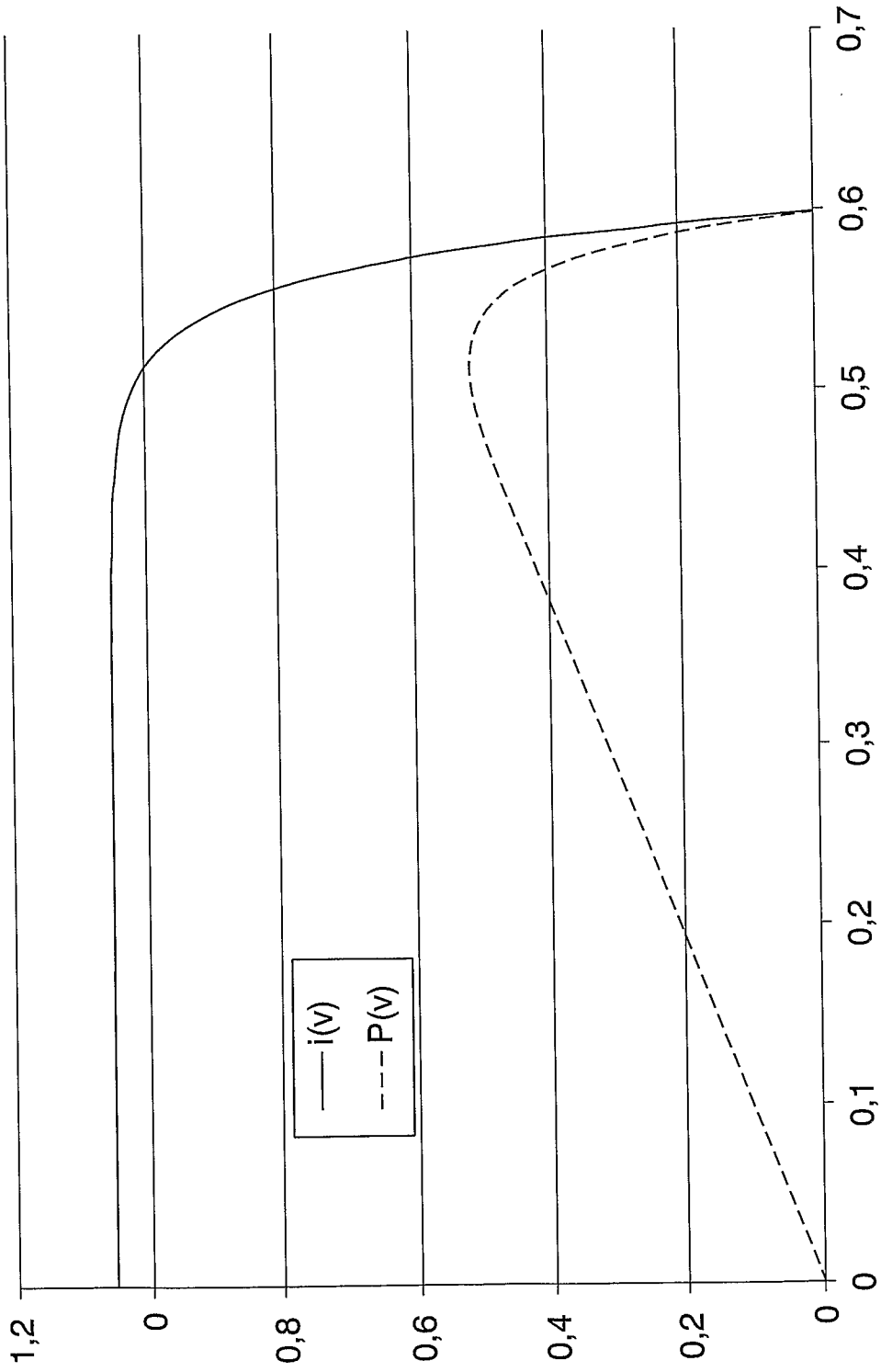


FIG. 4

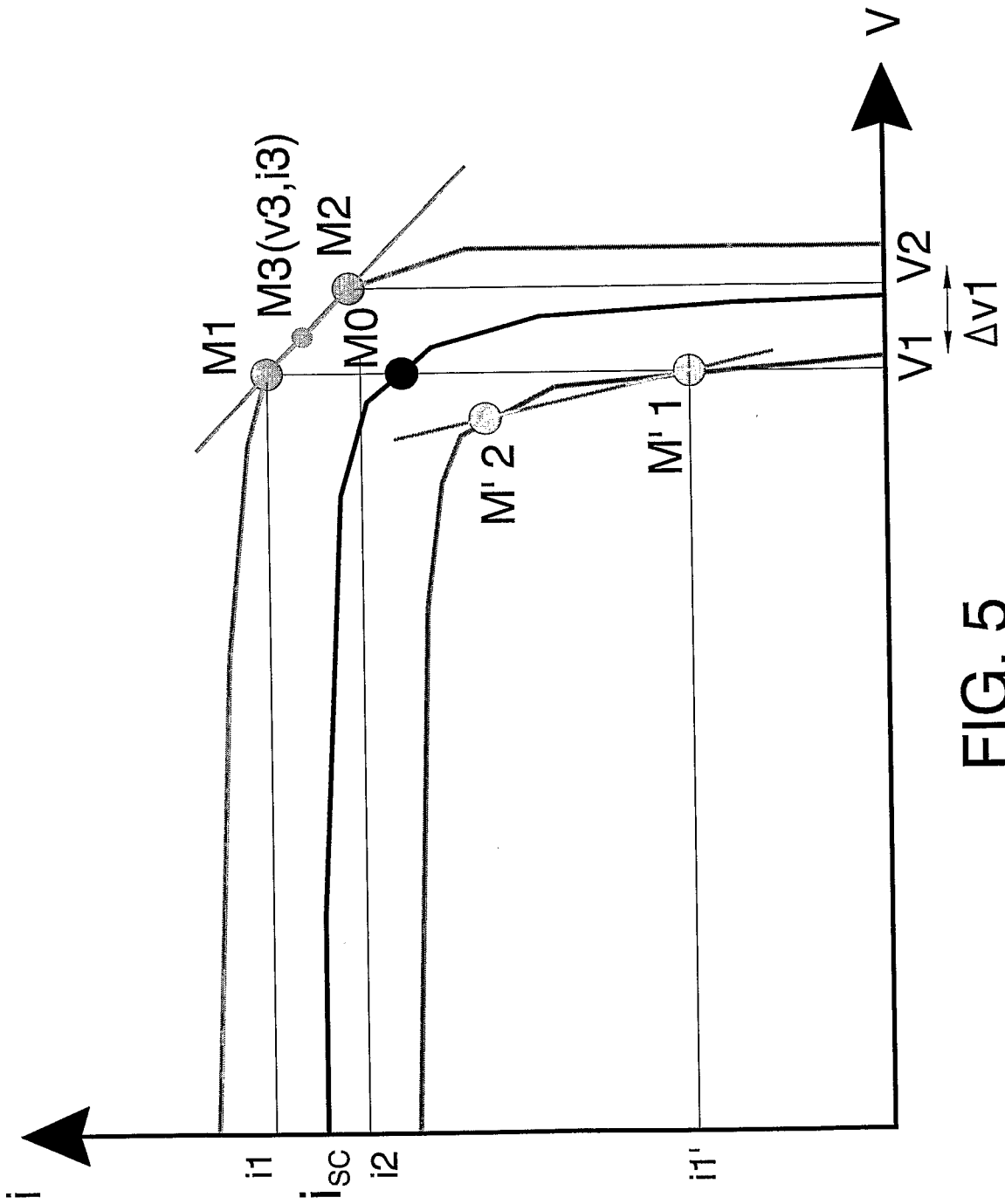


FIG. 5

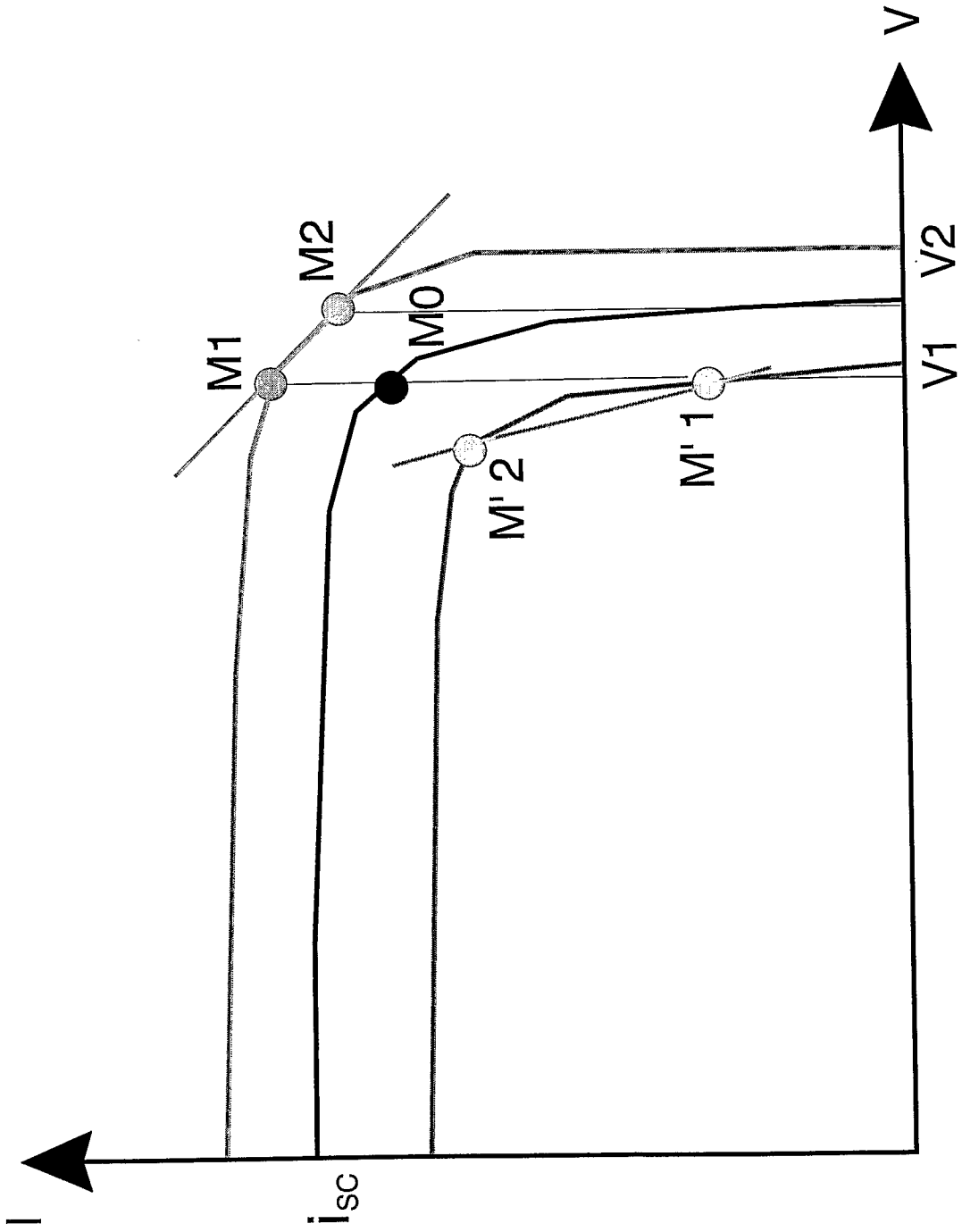


FIG. 6

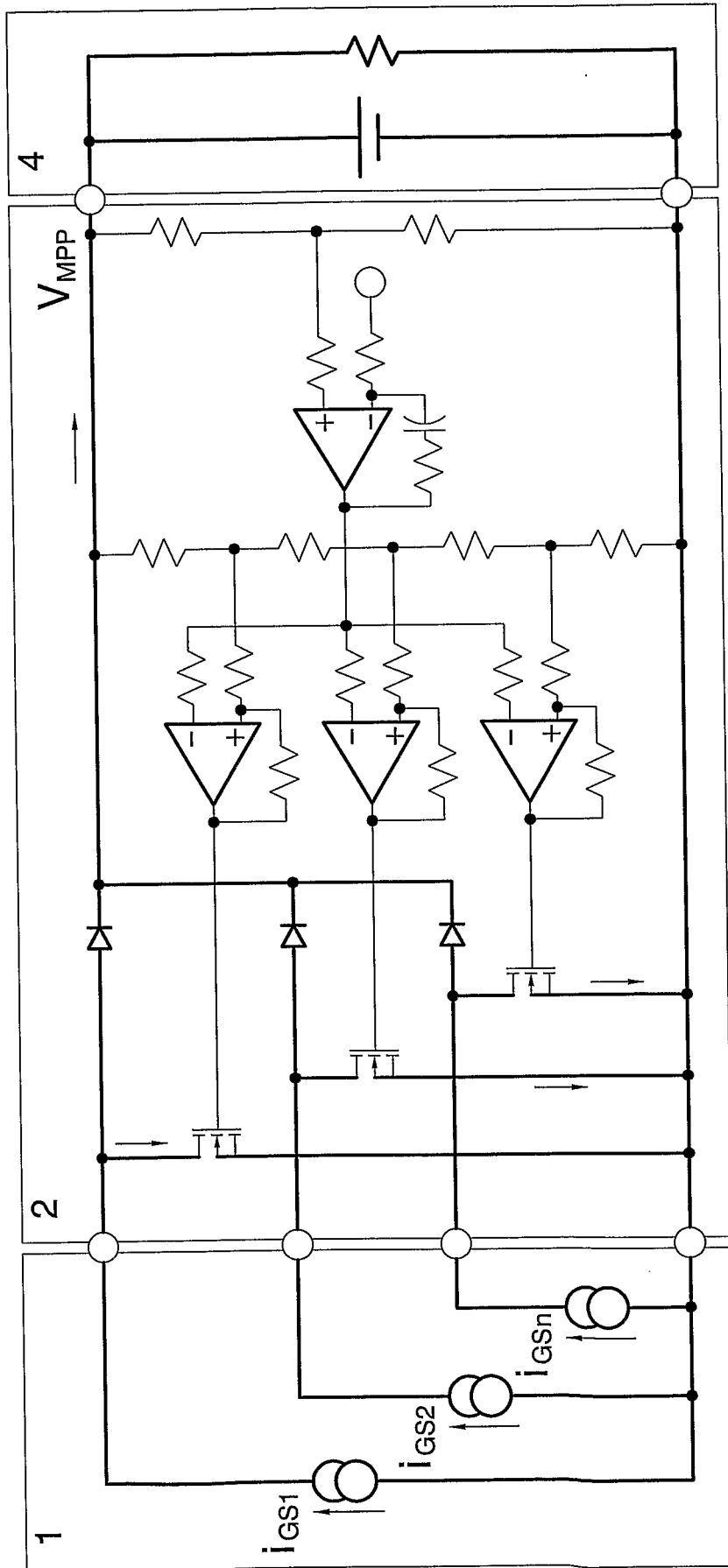


FIG. 7

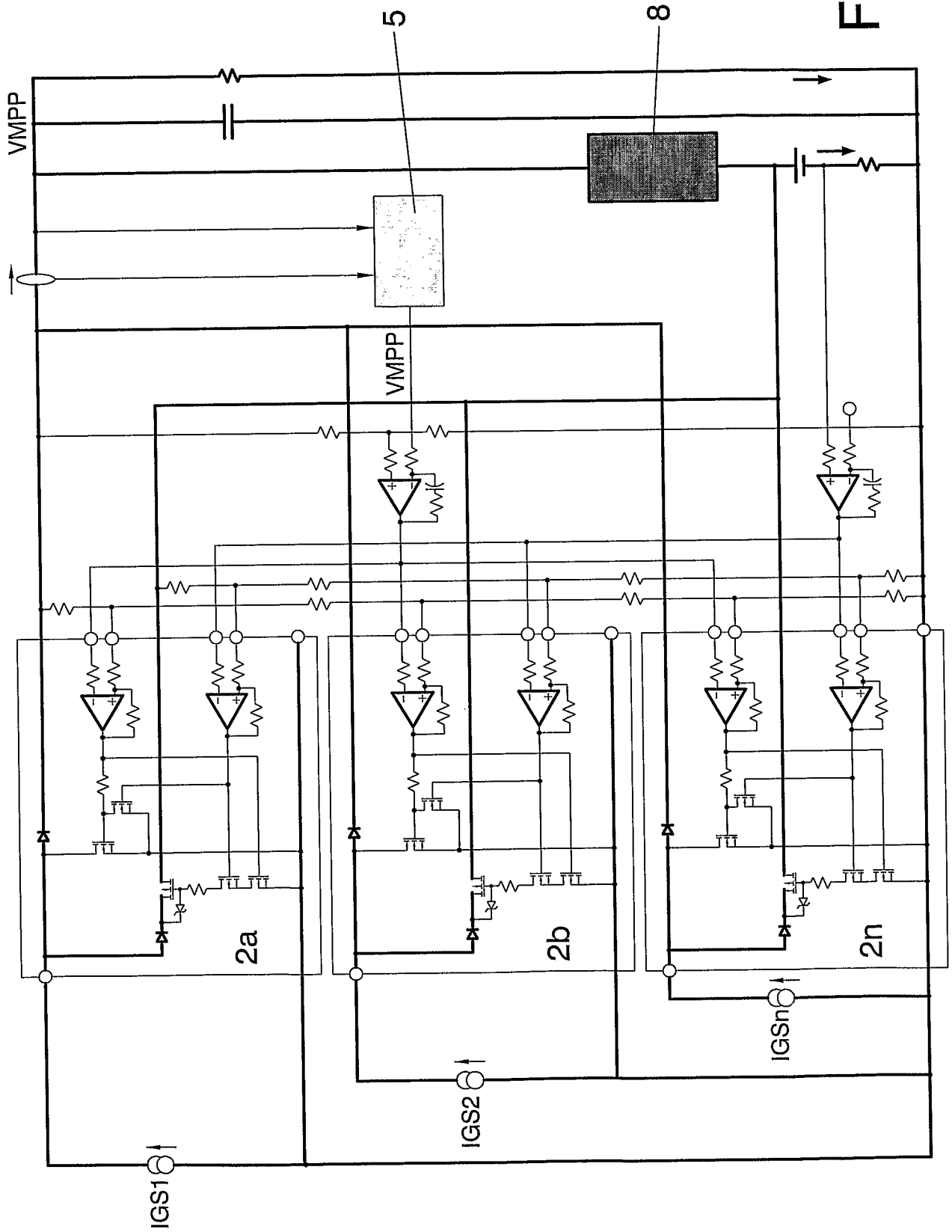


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ ES 2007/000184

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05F 1/67 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05F+, H01L+, H02J+

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CIBEPAT, EPODOC, WPI, INSPEC, ELSEVIER

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005017697 A1 (CAPEL, A) 27.01.2005; paragraphs 22-25, 32-35, 66-72; figures 1, 2, 4, 6, 7	1-34
A	EP 1239576 A2 (NAT INST OF ADVANCED IND SCIEN ; KASAI YUJI) 11.09.2002, paragraphs 40-50; figure 4.	1-34
A	EP 0762597 A2 (CANON KK) 12.03.1997, the whole document	1-34

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.		
"E" earlier document but published on or after the international filing date		
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
	"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 August 2007 (29.08.2007)

Date of mailing of the international search report

(30/08/2007)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

P. Valbuena Vázquez

Telephone No. +34 91 349 85 62

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2007/000184

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005017697 A	27.01.2005	EP 1400886 A EP 20030292203 FR 2844890 AB US 6984970 B	24.03.2004 09.09.2003 26.03.2004 10.01.2006 10.01.2006
EP 1239576 A	11.09.2002	EP 20020251625 AU 2322202 A JP 2002272094 A JP 3394996 B US 2002163323 A US 6844739 B AU 783004 B	07.03.2002 12.09.2002 20.09.2002 07.04.2003 07.11.2002 18.01.2005 15.09.2005
EP 0762597 A	12.03.1997	JP 9062387 A EP 19960306234 US 5838148 A	07.03.1997 28.08.1996 17.11.1998

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ ES 2007/000184

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G05F 1/67 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G05F+, H01L+, H02J+

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

CIBEPAT, EPODOC, WPI, INSPEC, ELSEVIER

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	US 2005017697 A1 (CAPEL, A) 27.01.2005; párrafos 22-25, 32-35, 66-72; figuras 1, 2, 4, 6, 7	1-34
A	EP 1239576 A2 (NAT INST OF ADVANCED IND SCIEN ; KASAI YUJI) 11.09.2002, párrafos 40-50; figura 4.	1-34
A	EP 0762597 A2 (CANON KK) 12.03.1997, todo el documento	1-34

En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

<p>* Categorías especiales de documentos citados:</p> <p>“A” documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.</p> <p>“E” solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.</p> <p>“L” documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).</p> <p>“O” documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.</p> <p>“P” documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.</p>	<p>“T” documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.</p> <p>“X” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.</p> <p>“Y” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.</p> <p>“&” documento que forma parte de la misma familia de patentes.</p>
--	--

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

29 Agosto 2007 (29.08.2007)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

30 de agosto de 2007 (30/08/2007)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Nº de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

P. Valbuena Vázquez

Nº de teléfono +34 91 349 85 62

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional n°

PCT/ES 2007/000184

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 2005017697 A	27.01.2005	EP 1400886 A EP 20030292203 FR 2844890 AB US 6984970 B	24.03.2004 09.09.2003 26.03.2004 10.01.2006 10.01.2006
EP 1239576 A	11.09.2002	EP 20020251625 AU 2322202 A JP 2002272094 A JP 3394996 B US 2002163323 A US 6844739 B AU 783004 B	07.03.2002 12.09.2002 20.09.2002 07.04.2003 07.11.2002 18.01.2005 15.09.2005
EP 0762597 A	12.03.1997	JP 9062387 A EP 19960306234 US 5838148 A	07.03.1997 28.08.1996 17.11.1998