

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 103**

21 Número de solicitud: 201500686

51 Int. Cl.:

**G05F 1/67**

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**17.09.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**22.03.2017**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
(100.0%)**

**Avda. de la Universidad s/n Edificio Rectorado y  
Consejo Social  
03202 Elche (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

**CARRASCO HERNÁNDEZ, José Antonio y  
GARCÍA DE QUIRÓS NIETO, Francisco Javier**

54 Título: **Circuito multiplicador con modulación de anchura de pulsos para maximización de la potencia entregada por un generador fotovoltaico conectado a un convertidor continua-continua**

57 Resumen:

La presente invención implementa un circuito que estima la potencia que ofrece un panel solar fotovoltaico, cuya tensión de salida viene definida por un convertidor continua-continua, a partir de la multiplicación de la medida de la corriente del panel y la tensión de éste utilizando un multiplicador con modulación de anchura de pulso, seguido de un filtro paso-bajo, un circuito detector de pico, un comparador que compara estos dos últimos valores de tensión y un integrador de la salida del comparador. La salida del comparador establece el ciclo de trabajo del convertidor continua-continua mediante su comparación con la tensión proveniente de un generador de rampa que define la frecuencia de trabajo del convertidor produciendo, gracias a la oscilación de la tensión del integrador, la oscilación de la tensión del panel que se traduce en una oscilación de su punto de trabajo alrededor del punto de máxima potencia.

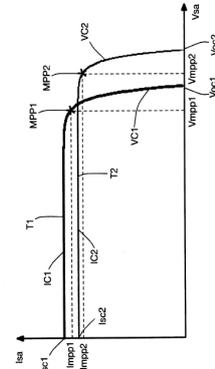


Figura 1

ES 2 606 103 A1

## DESCRIPCIÓN

5 Circuito multiplicador con modulación de anchura de pulsos para maximización de la potencia entregada por un generador fotovoltaico conectado a un convertidor continua-continua.

### Sector de la técnica

10 La presente invención describe un nuevo circuito para el cálculo de la potencia máxima producida por un panel solar y el control, a partir de la salida del circuito de cálculo, de un convertidor continua-continua para la maximización de la potencia máxima entregada por el panel solar.

### Antecedentes de la invención

15 Los circuitos y sistemas que calculan el punto de trabajo en máxima potencia de una instalación fotovoltaica han sido objeto (y todavía lo son) investigación de gran interés por cuanto aumentan de manera considerable el rendimiento de la instalación (que puede llegar a ser hasta un 30% mayor). En la actualidad no se concibe un sistema que reciba su alimentación de paneles solares sin un circuito de cálculo y seguimiento del punto de máxima extracción de potencia de la instalación. Es por ello por lo que el desarrollo de circuitos y técnicas han proliferado en la actualidad con una evolución natural que va desde los más antiguos sistemas analógicos hasta los sistemas más modernos que incorporan elementos de cálculo más o menos complicado y complejo basados en microprocesador.

30 Si operamos en el dominio analógico, el principio fundamental para posicionar el panel solar en el punto de trabajo en que proporciona su potencia máxima es el cálculo de la potencia que ofrece el panel en unas condiciones de trabajo dadas (que fundamentalmente dependen de la radiación incidente y la temperatura del panel) consiste en calcular la potencia que sale del panel multiplicando la tensión que soporta y la corriente que lo atraviesa. A partir del cálculo de la potencia un circuito con realimentación negativa actuando sobre un convertidor continua-continua calculando el punto de trabajo a potencia máxima con ayuda de un circuito electrónico y posicionando el panel. El trabajo [Zhigang, 2010] es un buen ejemplo de este modo de proceder en el que se describe cómo implementar el multiplicador y el circuito de cálculo. [Yan Hong Lim, 2000] implementa un circuito de cálculo de la potencia utilizando un multiplicador comercial AD633 del fabricante Analog Devices con una circuitería analógica relativamente sencilla.

40 En el dominio digital el circuito de cálculo de la potencia y el posicionamiento del punto de operación del convertidor continua-continua para colocar el panel solar en su punto de máxima potencia puede simplificarse ya que con un moderno microprocesador o procesador digital de señales, y sus capacidades de cálculo en como fija o flotante, es suficiente medir la corriente y la tensión en el panel e introducirlas, utilizando un convertidor analógico digital apropiado, en el elemento de cálculo digital para obtener la señal de control, que traducida al dominio analógico con un convertidor digital analógico, gobierna el convertidor continua-continua. [Ramaprabha, 2012] ofrece una revisión de diferentes algoritmos, implementables en circuitos lógicos digitales, para el cálculo del punto de trabajo en máxima potencia de un panel fotovoltaico.

Sin embargo en ciertas aplicaciones, entre las que destacan las espaciales, es deseable utilizar circuitos analógicos para realizar el cálculo y posicionamiento de un panel solar en el punto de máxima potencia porque ofrecen mayores posibilidades de realizar un diseño sencillo y robusto. En estas aplicaciones es además deseable eliminar elementos complicados, y con complejos modos de fallo como los multiplicadores, y ofrecer una solución con el menor número de componentes posible.

El estimador del punto de máxima potencia de [Denzinger, 1995] es habitualmente utilizado para sistemas espaciales y la patente US6919714 usa un concepto similar. Este estimador evita realizar una multiplicación haciendo uso de una propiedad del panel solar por la que, en el punto de máxima potencia, la relación entre la corriente y la tensión del panel es igual a la relación de la derivada de la corriente y la derivada de la tensión. Otras ideas han sido propuestas como la de [Rueda, 2005], también descrita en la patente US 2007/0024257, basada en que si la tensión de salida del convertidor continua-continua es constante, lo cual ocurre en la mayoría de los satélites de comunicaciones, el punto de trabajo de máxima potencia del panel coincide con el punto de máxima corriente de salida del convertidor continua-continua. Así, únicamente es necesario buscar el máximo de la corriente de salida, ajustando la tensión del panel para que eso ocurra, para posicionarlo en el punto de trabajo de máxima potencia.

En los últimos años el aumento del número de lanzamientos al espacio de plataformas de bajo coste, masa y volumen (picosatélites, nanosatélites y microsátélites) ha hecho necesario el uso de sistemas de estimación y seguimiento del punto de trabajo en máxima potencia del panel con sistemas mucho más sencillos como, por ejemplo, posicionar el panel a un 75% de la tensión en circuito abierto de éste. Este procedimiento es muy sencillo pero tiene dos desventajas: no trabajamos en el punto de máxima potencia sino en un punto alrededor de donde se estima que suele estar la máxima potencia y que estamos obligados a abrir el panel periódicamente para estimar la tensión en circuito abierto de éste, con las consiguientes pérdidas de potencia.

### Referencias bibliográficas

- Denzinger, W, "Electrical Power System of Globalstar", Proceedings of the European Space Power Conference 1995, ESA SP-369.

- Rueda, P., Van der Werrdt, B. "Segregated Maximum Power Point Tracking Based on Step-Up Regulation", Proceedings of the 'Seventh European Space Power Conference', 2005, ESA SP-589.

- R. Ramaprabha and B. L. Mathur, "A Comprehensive Review and Analysis of Solar Photovoltaic Array Configurations under Partial Shaded Conditions, "International Journal of Photoenergy, vol. 2012, Article ID 120214, 16 pages, 2012

- Yan Hong Lim; Hamill, D.C., "Simple maximum power point tracker for photovoltaic arrays," in Electronics Letters , vol.36, no. 11, pp. 997 -999, 25 May 2000

- Zhigang Liang; Rong Guo; Huang, A., "A new cost-effective analog maximum power point tracker for PV systems," in Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE, vol., no., pp. 624-631, 12-16 Sept. 2010

## Explicación de la invención

La presente invención hace uso de una estimación de la potencia que ofrece el panel solar a partir de la multiplicación de la corriente del panel y la tensión de éste utilizando un multiplicador de anchura de pulsos, denominado por sus siglas en inglés PWM, seguido de un filtro paso-bajo y un circuito detector de pico. El sistema se aplica fundamentalmente cuando la tensión del panel es mayor que la tensión que se entrega al satélite, lo cual es habitual en aplicaciones de nano y microsatélites, aunque puede aplicarse también para tensiones de panel menores que las del satélite lo que puede ser deseable en sistemas de mayor tensión y potencia con objeto de provocar arcos en el panel.

Si bien el multiplicador PWM se inventó en 1967 [patente US 3535657 A] no ha sido aplicado hasta la fecha para realizar los cálculos de estimación de la potencia ofrecida por un panel solar como se describe en esta invención.

La invención se implementa en conjunción con un panel solar y un convertidor continua-continua cuya salida es una batería, que podría ser parte de un sistema de distribución no regulado que usualmente alimenta a pequeños satélites, o un bus de tensión constante o un bus no regulado siempre que la variación de tensión que experimente sea suave y no interfiera con la búsqueda del punto de máxima potencia.

La curva característica, corriente del panel solar,  $I_{sa}(V_{sa})$ , en función de la tensión entre los extremos del mismo ( $V_{sa}$ ) se muestra en la figura 1 para dos temperaturas distintas, ( $T_1$ ) y ( $T_2$ ), siendo la primera mayor que la segunda. Los puntos ( $V_{oc1}$ ) y ( $V_{oc2}$ ) corresponden a la tensión entre los extremos del panel en circuito abierto a las temperaturas ( $T_1$ ) y ( $T_2$ ) respectivamente. Las corrientes ( $I_{sc1}$ ) e ( $I_{sc2}$ ) de la figura 1 son las corrientes de cortocircuito del panel, cuando la tensión del panel es igual a cero voltios a las temperaturas ( $T_1$ ) y ( $T_2$ ) respectivamente. Los puntos ( $MPP_1$ ) y ( $MPP_2$ ) de coordenadas ( $V_{mpp1}$ ,  $I_{mpp1}$  y ( $V_{mpp2}$ ,  $I_{mpp2}$ ) representan los puntos de máxima potencia del panel, a las temperaturas ( $T_1$ ) y ( $T_2$ ) respectivamente, y se encuentran en un punto intermedio entre la curva de tensión constante y la de corriente constante.

Siguiendo la figura 2, el objetivo del circuito de la invención es hacer que la tensión de la capacidad ( $C_{sa}$ ), denominada ( $V_{sa}$ ), en paralelo con el panel, y de facto la tensión del panel, sea tal que la corriente que sale del mismo ( $I_{sa}$ ) maximice la potencia que sale éste, que viene dada por el producto de ( $I_{sa}$ ) y ( $V_{sa}$ ). Para ello sensamos la corriente del panel con un sensor ( $S_c$ ) y una ganancia ( $G$ ) adaptada al funcionamiento de los circuitos de señal dispuestos para tratar la corriente sensada. La corriente que sale del sensor es entonces el producto de ( $G$ ) e ( $I_{sa}$ ), denominado ( $G \cdot I_{sa}$ ) en la figura 2, y al pasar por la resistencia ( $R_m$ ) produce una tensión dada por el producto de los valores de ( $R_m$ ), ( $G$ ) e ( $I_{sa}$ ).

Por otro lado tenemos un convertidor (DC-DC), que en una posible implementación puede ser un convertidor reductor conmutado, trabajando con un ciclo de trabajo  $D$  definido por la intersección de la tensión ( $V_{ref}$ ) y ( $V_{rampa}$ ), de la figura 2, comparadas en el comparador ( $COMP_1$ ). La salida de ( $COMP_1$ ) hace conducir el transistor ( $M_1$ ) cuando está en estado bajo y lo corta cuando está en estado alto. En esta situación la relación existente entre la tensión de salida ( $V_{BAT}$ ) y la tensión de entrada del convertidor (DC-DC), ( $V_{sa}$ ), viene dada por,

$$VBAT(D) = D \cdot Vsa$$

Y la potencia que proporciona el panel solar viene dada por,

$$Psa = Vsa \cdot Isa$$

En esta invención necesitamos suponer que la tensión (VBAT) es constante o que si no lo es varía muy lentamente en comparación con la frecuencia de cálculo del punto de máxima potencia. Esta suposición no resta aplicabilidad a la invención puesto que éste suele ser el funcionamiento usual de la salida del convertidor (DC-DC). Con ello,

$$Psa(D) = \frac{VBAT}{D} \cdot Isa$$

Considerando además el modelo exponencial de curva característica para estimar la corriente de salida de un panel solar,

$$Isa(D) = Isc - Ir \cdot \left( e^{\alpha \frac{VBAT}{D}} - 1 \right)$$

donde Isc es la corriente de cortocircuito del panel, Ir la corriente de oscuridad y a un parámetro que depende de las características de fabricación de las células fotovoltaicas que forman el panel, tenemos que la potencia que proporciona el panel en función de la tensión de salida del convertidor DC-DC y el ciclo de trabajo de éste viene dada por,

$$Psa(D) = \frac{VBAT}{D} \cdot \left( Isc - Ir \cdot \left( e^{\alpha \frac{VBAT}{D}} - 1 \right) \right)$$

Por su parte el transistor (Rm) de la figura 2 está cortocircuitado por el transistor (T1) cuando (COMP1) está en estado bajo y tiene entre sus extremos la tensión dada por el paso de la corriente proveniente del sensor de corriente del panel solar a través de (Rm) cuando (COMP1) está en estado alto presentando entre sus extremos una tensión que fluctúa entre 0 voltios y el producto de los valores de (Rm) e (G·Isa) con un ciclo de trabajo inverso al del convertidor (DC-DC), es decir 1-D.

Siguiendo con la figura 2, el filtro de paso bajo formado por (Rf) y (Cf) filtra la onda cuadrada entre los extremos de (Rm) presentando entre los extremos del condensador (Cf) una tensión (Vcf) que es la media de ésta, esto es,

$$VCf(D) = Rm \cdot G \cdot Isa \cdot (1 - D)$$

E introduciendo la expresión de la corriente del panel solar, Isa,

$$VCf(D) = Rm \cdot G \cdot \left( Isc - Ir \cdot \left( e^{\alpha \frac{VBAT}{D}} - 1 \right) \right) \cdot (1 - D)$$

Es evidente que la expresión de la tensión ( $V_{Cf}$ ) no es proporcional a la potencia de salida del panel solar,  $P_{sa}$ , tal como se ha obtenido anteriormente, y por ello no podemos utilizar la tensión ( $V_{Cf}$ ) para estimar la potencia ofrecida por el panel. Sin embargo, y este concepto es clave en el funcionamiento del circuito de esta invención, la expresión de la

5 tensión ( $V_{Cf}$ ) y la de la potencia del panel  $P_{sa}$  tiene el máximo en el mismo ciclo de trabajo,  $D$ . Por esta razón maximizando ( $V_{Cf}$ ) estaremos maximizando la potencia suministrada por el panel solar. La maximización de ( $V_{Cf}$ ) se hace actuando sobre el ciclo de trabajo del panel que modifica la tensión ( $V_{sa}$ ) a los extremos de éste.

10 Intuitivamente es sencillo ver esta última afirmación considerando la representación en la figura 3.a de la curva de corriente proporcionada por el panel solar ( $I_{sa}$ ) en función del ciclo de trabajo ( $D$ ), la curva  $V_{BAT}/D$  representada por (CURVA1) y la curva 1- $D$  representada por (CURVA2). El producto de (CURVA1) por ( $I_{sa}$ ) produce ( $P_{real}$ ) en la figura 3.b y el producto de (CURVA2) por ( $I_{sa}$ ) produce ( $P_{stim}$ ). Se comprueba que al ser

15 (CURVA1) y (CURVA2) monótonas decrecientes el producto por ( $I_{sa}$ ) produce, muy aproximadamente, el mismo máximo, ( $MPP_{real}$ ) y ( $MPP_{stim}$ ), dado por en las curvas ( $P_{real}$ ) y ( $P_{stim}$ ).

20 Nótese que las curvas de la figura 2 son cero para ( $D$ ) aproximadamente 0.5, y valores menores de ( $D$ ), ya que para estos valores de ( $D$ ), y siguiendo la relación entre la tensión de entrada y salida del convertidor reductor, la tensión de entrada sería menor que la de salida en una aplicación general.

25 Para maximizar la tensión ( $V_{Cf}$ ), y con ello la potencia que sale del panel, procedemos como sigue observando el circuito de la figura 2:

- El transistor ( $T_2$ ) del bloque (MPWM) está inicialmente abierto por lo que el condensador ( $C_{ref}$ ) se está cargando hasta la tensión de alimentación dada por el panel solar ( $V_{sa}$ ). Al cargarse recorre las tensiones de la rampa ( $V_{ramp}$ ) desde su valor mínimo

30 a su valor máximo produciendo un ciclo de trabajo,  $D$ , definido por la comparación realizada en el comparador (COMP1) de la figura 2 que va aumentando progresivamente.

- La tensión ( $V_{sa}$ ) comenzará en su valor mayor posible, ya que en el inicio  $D=0$ , el panel está en circuito abierto, no circula corriente y el condensador ( $C_{sa}$ ) se carga a la tensión de circuito abierto del panel. El transistor ( $M_1$ ) está en estado abierto, la salida del comparador (COMP1) está en estado alto, y el transistor ( $T_1$ ) no conduce. En esta situación ( $V_{Cf}$ ) = 0.

35

- Conforme el ciclo de trabajo del convertidor (DC-DC) aumenta la tensión ( $V_{sa}$ ) disminuye y la corriente ( $I_{sa}$ ) comienza a aumentar recorriendo la curva característica del panel desde la zona de funcionamiento a tensión constante hacia la zona de funcionamiento a corriente constante. El transistor ( $M_1$ ) comienza a conmutar y ( $T_1$ ) también produciendo una tensión media en el condensador ( $C_f$ ) correspondiente al filtrado paso bajo de la tensión en ( $R_m$ ).

40

- La tensión en ( $R_m$ ) aumentará conforme aumente el ciclo de trabajo pero llegará un punto en que comenzará a disminuir. Ese punto es el punto de tensión máxima para ( $V_{Cf}$ ) que corresponde con el punto de máxima potencia del panel. La tensión de pico de ( $V_{Cf}$ ), correspondiente a la máxima potencia del panel, se almacena en el condensador del detector de pico ( $C_p$ ) del bloque (PICO).

45

50

- Simultáneamente el comparador con histéresis (COMP2), del bloque (HIST), está comparando cuando la tensión de (Cf) baja un poco por debajo de (VCp) y cambia el estado de éste a estado alto lo cual bascula el biestable (DFF), que pone a conducir el transistor (T2), descargando el condensador (Cref) del bloque (INT).

5

- Al descargarse (Cref) el ciclo de trabajo del convertidor (DC-DC) disminuye y la tensión en (Cf) comenzará a aumentar con lo que el comparador (COMP2) pasará a estado bajo no produciendo cambio en (DFF), pero preparando el circuito para el siguiente cambio.

10

- Con el ciclo de trabajo de (DC-DC) disminuyendo el panel solar pasa de la zona de funcionamiento de corriente constante a la zona de tensión constante haciendo que (VCf) pase por un máximo y vuelva a disminuir. Este máximo queda almacenado en (VCp), aunque si no hay cambios en la irradiación sobre el panel ni la temperatura del mismo será el mismo que en el caso anterior. Al disminuir (VCf) llega un momento que el comparador (COMP2) pasa a estado alto poniendo un estado bajo a la salida del biestable (DFF) y haciendo que (T2) se corte.

15

- En esta situación (Cref) vuelve a cargarse haciendo que el ciclo de trabajo de (DC-DC) aumente, el regulador (DC-DC) haga pasar de nuevo al panel solar de la zona de tensión constante a la zona de corriente constante. Repitiendo el ciclo indefinidamente.

20

De esta forma este ciclo se repite indefinidamente oscilando (Vsa) alrededor de la tensión del panel que hace que salga de él su potencia máxima.

25

La figura 4.a muestra las formas de onda existentes en los puntos (Vref) y (Vram), que definen el ciclo de trabajo del convertidor y la frecuencia de conmutación del convertidor (DC-DC), y la tensión en (Rm), (VRm), que no es cero en los momentos inversos al ciclo de trabajo y la medida de la tensión (Rm), que se almacena en (Cf), (VCf).

30

La figura 4.b muestra la oscilación producida en (Cf), (VCf), a una frecuencia mucho menor que la frecuencia de conmutación, La tensión de trabajo del panel (Vsa), que aumenta y disminuya buscando la máxima potencia definida a partir de la tensión (Vref).

35

Evidentemente sería deseable evitar esta oscilación pero para ello harían falta circuitos más complicados, y de hecho en la bibliografía esto se consigue únicamente empleando circuitos digitales. En cualquier caso la presente invención representa un implementación del método de obtención de punto de potencia máxima del tipo perturbación y observación ampliamente utilizado en sistemas sencillos y sistemas espaciales.

40

Es importante remarcar el papel de las resistencias (R1) y (R2) que,

- Disminuyen ligeramente la tensión del pico (VCp) para que la salida de (COMP2) pueda pasar a estado bajo al aumentar (VCf).

45

- Descargan el condensador (Cp), a una velocidad menor a la de oscilación del ciclo de trabajo del convertidor (DC-DC), para que se cargue con un nuevo valor de la tensión de la potencia máxima si cambian las condiciones de iluminación o temperatura del panel.

50

En otra posible implementación del convertidor (DC-DC) como convertidor elevador la función de transferencia de éste produce una relación entre (Vsa) y (VBAT) dada por,

$$V_{BAT}(D) = \frac{V_{sa}}{1 - D}$$

Con lo que la potencia que sale del panel solar vendrá dada por,

$$P_{sa}(D) = \left( I_{sc} - I_r \cdot \left( e^{\alpha \frac{V_{BAT}}{D}} - 1 \right) \right) \cdot V_{BAT} \cdot (1 - D)$$

5

Contrariamente a lo que ocurre con el convertidor reductor esta expresión sí es proporcional a la tensión media a la salida del multiplicador (MPWM) por lo que el máximo de este último indica la potencia máxima del panel. Con este resultado, el procedimiento a seguir para el convertidor elevador y el funcionamiento del resto del circuito es idéntico al del reductor.

10

### Breve descripción de los dibujos

15 La descripción se complementa con un conjunto de dibujos ilustrativos y no limitativos que representan lo siguiente,

20 - La figura 1 muestra dos curvas características corriente-tensión de un panel solar fotovoltaico a dos temperaturas, (T1) y (T2), distintas, siendo la primera mayor que la segunda. Sobre la curva característica se señalan los puntos de máxima potencia, (MPP1) y (MPP2), a temperaturas (T1) y (T2); los tramos de funcionamiento de la curva a tensión constante, (VC1) y (VC2), a temperaturas (T1) y (T2) respectivamente; y los tramos de funcionamiento de la curva a corriente constante, (IC1) e (IC2), a temperaturas (T1) y (T2) respectivamente.

25

- La figura 2 muestra un diagrama general de la realización de un control basado en multiplicador con modulación de anchura de pulso (MPWM) para maximización de la potencia entregada por un convertidor continua-continua conectado a un generador fotovoltaico que es el objeto de esta invención.

30

- La figura 3.a muestra tres funciones que ayudan a comprender porqué la tensión estimada por el multiplicador con modulación de anchura de pulso señala a la máxima potencia que sale del panel.

35 - La figura 3.b muestra las potencias correspondientes a las funciones representadas en la figura 3.a para mostrar que la potencia que sale del panel y la estimada por el multiplicador con modulación de anchura tienen el máximo en el mismo punto.

40 - La figura 4.a muestra la evolución temporal de seis formas de onda en función del tiempo en una escala temporal comparable a la frecuencia de conmutación del convertidor (DC-DC). En concreto se muestran: la tensión de referencia (Vref) y la tensión de la rampa (Vramp) que se comparan en el comparador (COMPI); la tensión en la resistencia de sensado de corriente (VRm) y su valor medio (VCf) dado por la multiplicación por modulación de anchura de pulso; y la tensión de salida del convertidor (DC-DC), (VBAT), y la tensión del panel solar (Vsa).

45

- La figura 4.b muestra la evolución temporal de tres formas de onda en función del tiempo en una escala temporal mucho mayor que la frecuencia de conmutación del

convertidor (DC-DC). En concreto se muestran: la tensión de referencia ( $V_{ref}$ ); La tensión del panel solar ( $V_{sa}$ ); y la tensión en la resistencia ( $R_m$ ). La tensión en los extremos de la resistencia ( $R_m$ ) tiene un máximo que coincide aproximadamente con el centro de la rampa de la tensión de referencia ( $V_{ref}$ ) y con el punto de máxima potencia del panel.

5

- La figura 5 muestra una realización práctica, aunque no exclusiva, del sensor de corriente ( $S_c$ ) de la figura 2.

10

- La figura 6 muestra una realización práctica, aunque no exclusiva, del generador de rampa, el comparador COMP1 y el inversor de la figura 2.

### Realización preferente de la invención

15

Una realización de la invención para aplicaciones en plataformas de pequeños satélites se describe a continuación.

20

El panel solar a acondicionar se implementa con 3 células solares de la empresa AZURSP ACE conectadas en serie que a  $28^{\circ}\text{C}$  tienen una tensión de circuito abierto de 8.0V, una corriente de cortocircuito de 506mA y un punto de máxima potencia dado por las coordenadas de tensión y corriente sobre la curva característica de 7.1V y 487mA, correspondiente a 3.5W.

25

El sensor de corriente que proviene del panel solar, ( $I_{sa}$ ) en la figura 2, se sensa con una implementación del sensor ( $S_c$ ) como el descrito en la figura 5. Siendo los valores de los componentes ( $R_{51}$ ) y ( $R_{52}$ )  $47\Omega$ , ( $R_{53}$ ), ( $R_{54}$ ) y ( $R_m$ )  $4.7k\Omega$  y ( $R_s$ ) igual a  $100m\Omega$ , se obtiene una corriente que atraviesa ( $R_m$ ) igual a una milésima parte de la corriente por el panel solar. La corriente por ( $R_m$ ) es amplificada 4700 veces y multiplicada con modulación por anchura de pulsos con el transistor ( $T_1$ ) en la figura 2, implementado con un transistor 2n2222 de Fairchild, para obtener una tensión media en ( $C_f$ ) que oscila en el entorno de los 1.6V cuando el panel solar trabaja en su punto de máxima potencia, en la que para una temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$  tendremos un ciclo de trabajo alrededor de 0.7 aproximadamente. La resistencia ( $R_f$ ) y el condensador ( $C_f$ ) de la figura 2 se implementan con valores de  $100k\Omega$  y  $1nF$  respectivamente.

30

35

Siguiendo la figura 2, la implementación del convertidor (DC-DC) se realiza siguiendo un método de diseño convencional, para que opere en la región de trabajo continua, como el descrito en Power Electronics de Ned Mohan, segunda edición, por Tore M. Undeland y William P. Robins. Elegimos una frecuencia de conmutación de 250kHz para obtener una minimización de los elementos magnéticos y capacitivos del filtro de salida del convertidor (DC-DC).

40

45

El transistor MOSFET ( $M_1$ ) se implementa con un dispositivo IRF7406 de International Rectifier y el diodo ( $D_1$ ) por un modelo BYM13-50 de Vishay. El inductor se implementa con una bobina de  $100\mu\text{H}$  que podemos encontrar en el mercado del fabricante Coilcraft, modelo AE563PKAI04MSZ, y el condensador de  $10\mu\text{F}$ .

50

La frecuencia de funcionamiento del convertidor (DC-DC) viene implementada en el generador de rampa que puede implementarse alrededor del comparador (COMP61) de la figura 6. Obtenemos una rampa, en el nodo ( $V_{ramp}$ ) de la figura 6, de 250kHz que oscila entre 1V y 3V escogiendo ( $R_{63}$ ) igual a  $10k\Omega$ , ( $R_{64}$ ) igual a  $6.7k\Omega$ , ( $C_{62}$ ) igual a  $1nF$ , ( $C_{63}$ ) igual a  $10nF$  e implementando la fuente de corriente alrededor de ( $T_{60}$ ) para

proporcionar unos 3.5mA, eligiendo el transistor modelo 2n2907 de Fairchild, (R65) igual a 3300, (R66) igual a 5k $\Omega$  y el diodo Zener (Z61) de 3.9V modelo ZV55-B3V9 de NXP.

5 Todo el conjunto, incluido el comparador, se alimenta a partir de la tensión del panel solar, ( $V_{sa}$ ) en la figura 2 y la figura 6, regulada por un regulador, (REG) en la figura 6, LM317 que da +5V de tensión continua a su salida (siempre que la tensión del panel sea mayor que esta tensión), en el nodo +5V, diseñando (R61) y (R62) iguales a 10k $\Omega$ . El condensador de filtro (C61) se coge de 1 $\mu$ F.

10 El comparador (COMP1) de la figura 6 equivale al comparador (COMP1) de la figura 2 y realiza la comparación de la tensión resultante del integrador, ( $V_{ref}$ ) en las figuras 2 y 6, y la rampa, ( $V_{ramp}$ ) en las figuras 2 y 6. De él sale directamente la tensión que maneja el comparador por anchura de pulso, ( $V_{Rb1}$ ), conectada a la resistencia (RB 1) en la figura 2. En este caso de la realización del circuito de la figura 6 la inversión se realiza para el  
15 disparo del transistor MOSFET por los transistores (T61), (T62) y (T63) implementados por transistores 2n2907, 2n2222 y 2n2222 respectivamente (todos de Fairchild) y sus redes de polarización: (R691) igual a 24k $\Omega$ , (R692) igual a 3k $\Omega$ , (R693) igual a 10 $\Omega$  y (R68) igual a 6.9k $\Omega$ . La resistencia (R67) polariza la etapa de salida de (COMP1) y se escoge de 4.7k $\Omega$ . El comparador (COMP1) también se alimenta de la tensión +5V de la  
20 salida del regulador (REG) de la figura 6.

El diodo ideal del detector de pico se implementa con un diodo (D2) de tipo 1n4148 de Vishay y un amplificador operacional (OPAM) de tipo rail a rail, modelo OPA369 de Texas Instruments. El condensador del detector de pico (Cp) tiene un valor de 1 $\mu$ F.

25 El condensador (Cp) se descarga a través de las resistencias (R1) y (R2) con una constante de tiempo mucho mayor que la de la frecuencia de conmutación para cargarse en cada ciclo al valor (estimado) de la potencia máxima; estas resistencias proporcionan además la comparación de la tensión de pico reducida en un 10% con la tensión de la  
30 estimación de la máxima potencia en (Cf). Un valor de 10k $\Omega$  para (R1) y 90k $\Omega$  para (R2) satisfacen apropiadamente estos dos requisitos.

El comparador (COMP2) de la figura 2 se implementa con un comparador LM393 de Texas Instruments. Un valor de las resistencias (R3), (R4) y (R5) de 1k $\Omega$ , 1k $\Omega$  y 100k $\Omega$   
35 proporciona una histéresis de alrededor de 100mV y ajusta las impedancias de ambos pines del comparador. La histéresis de 100mV es suficiente en esta aplicación para mantener la oscilación alrededor del punto de máxima potencia del panel solar en las condiciones de trabajo. El comparador (COMP2) necesita típicamente una resistencia de polarización (pull-up) de su etapa de salida 4.7k $\Omega$ .

40 El biestable D (DFF) se implementa con un biestable modelo CD4042 de Texas Instruments para que funcione como un divisor por dos de la salida del comparador (COMP2).

45 El integrador se implementa con un condensador (Cref) de 100 $\mu$ F y dos resistencias que lo carguen y descarguen con unos 10mA cuando el panel está trabajando alrededor de su punto de máxima potencia. Dos resistencias (R6) y (R7) de 470 $\Omega$  son apropiadas ya que proporcionan además una constante de tiempo al integrador de unos 5ms, mucho mayor que la frecuencia de conmutación y mucho menor que la constante de tiempo del detector  
50 de pico. El transistor (T2) se implementa con un modelo 2n2222 de Fairchild; una

resistencia de  $4.7k\Omega$  polariza su puerta con una corriente apropiada a partir de la tensión de salida del biestable D (DFF).

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Circuito estimador del punto de trabajo de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico **caracterizado** por la incorporación de un sensor de la corriente ( $I_c$ ) de salida del panel y un convertidor continua-continua (DC-DC) que regula la tensión de salida del panel a partir de la variación de su ciclo de trabajo que comprende:
- 10 - Un circuito troceador de la corriente sensada (MPWM) en el panel fotovoltaico implementado con un conmutador que cortocircuita la salida del sensor sincronizado con el complementario del ciclo de trabajo del convertidor continua-continua (DC-DC),
  - 15 - Un circuito que calcula la tensión media a la salida del troceador del sensor de corriente del panel implementado con un filtrado paso bajo de la tensión de salida del troceador con una constante de tiempo más de diez veces mayor que el periodo de trabajo del convertidor continua-continua,
  - 20 - Un circuito que detecta y retiene la tensión máxima o de pico a la salida del circuito que calcula la tensión media del troceador de la corriente sensada del panel solar (PICO) implementado con un diodo rectificador activo.
  - 25 - Un circuito comparador (HIST) que compara la tensión retenida en el circuito que retiene la tensión máxima o de pico a la salida del circuito que calcula la tensión media del troceador y la tensión media a la salida del troceador implementado con un comparador con histéresis cuyos valores se programan para que la tensión media a la salida del troceador oscile alrededor de un valor máximo,
  - 30 - Un circuito integrador de la tensión de salida del circuito comparador con histéresis (HIST) con una constante de tiempo más de diez veces mayor que la constante de tiempo del filtro paso bajo del troceador de la corriente de salida del panel solar.
  - 35 - Un circuito generador de la frecuencia de trabajo y del ciclo de trabajo del convertidor continua-continua (DC-DC) que maneja el conmutador de éste en sincronía con aquel implementado a partir de una comparación de la tensión de salida del circuito integrador de tensión y de una tensión en rampa generada por un circuito generador de rampas a la frecuencia de operación del convertidor DC-DC.
- 40 2. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la tensión media a la salida del filtro paso bajo conectado a la salida del troceador del sensor de la corriente del panel alcanza su valor máximo en el mismo punto en el que el panel alcanza su potencia máxima cuando se controla la tensión de salida del panel haciendo variar el ciclo de trabajo del convertidor DC-DC.
- 45 3. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según las reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** porque el circuito detector de pico retiene el valor máximo de la tensión media del troceador de la corriente de salida del panel, que coincide con la potencia máxima suministrada por el panel cuando se controla la tensión de salida del panel haciendo variar el ciclo de trabajo del convertidor DC-DC, durante un tiempo más de diez veces mayor que el periodo de conmutación del convertidor DC-DC.
- 50

4. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según las reivindicaciones 1, 2 y 3 **caracterizado** porque el circuito comparador con histéresis que compara la tensión de pico del circuito detector de pico y la tensión media del troceador de la corriente de salida del panel produce un estado lógico a su salida cuando  
5 ambas tensiones se separan a un valor programado en el circuito comparador y un estado lógico contrario al anterior cuando se acercan a un valor programado en el circuito comparador.
5. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según  
10 las reivindicaciones 1, 2, 3 y 4 **caracterizado** porque el circuito integrador de tensión del comparador con histéresis disminuye linealmente el valor de su tensión de salida cuando el comparador está en uno de sus estados lógicos y la aumenta cuando el comparador está en un estado lógico inverso al anterior.
- 15 6. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según las reivindicaciones 1 y 5 **caracterizado** por un circuito generador de rampa que define la frecuencia de operación del convertidor continua-continua y un circuito comparador que define el ciclo de trabajo del convertidor como un modulador de anchura de pulso a partir de la comparación de la tensión de la rampa y la tensión del integrador.  
20
7. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según las reivindicaciones 1 y 6 **caracterizado** por la salida lógica del comparador que trabaja como modulador de anchura de pulso que define el estado de conducción del conmutador del convertidor continua-continua y lo varía aumentando y disminuyendo  
25 siguiendo la comparación entre de la tensión del circuito generador de rampa y la tensión del circuito integrador haciendo que el convertidor continua-continua ajuste la tensión en los extremos del panel solar.
8. Circuito estimador del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico según  
30 las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado** por la variación de la tensión entre los extremos del panel solar en tomo a su punto de máxima potencia definido por la variación del valor medio de la tensión en el troceador alrededor de su valor máximo, que coincide con la potencia máxima del panel.  
35

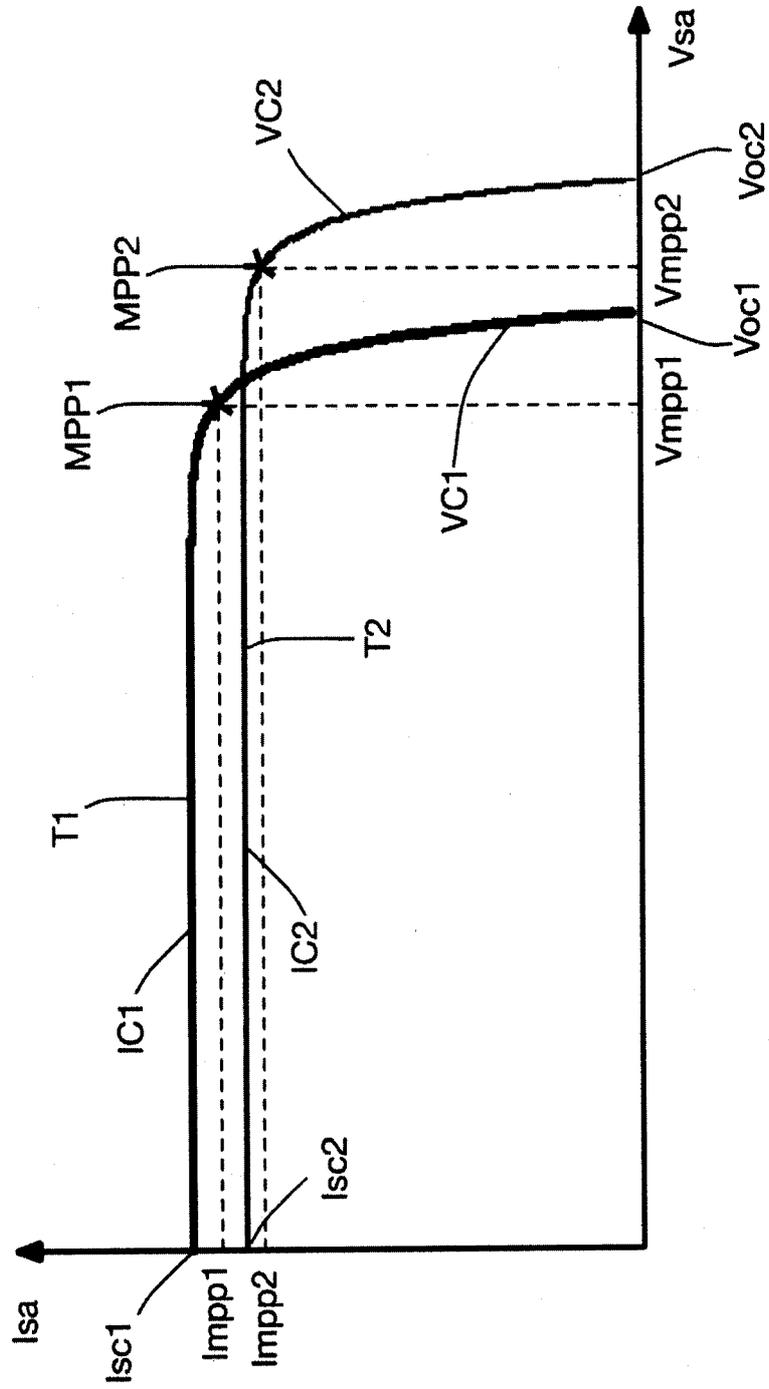


Figura 1

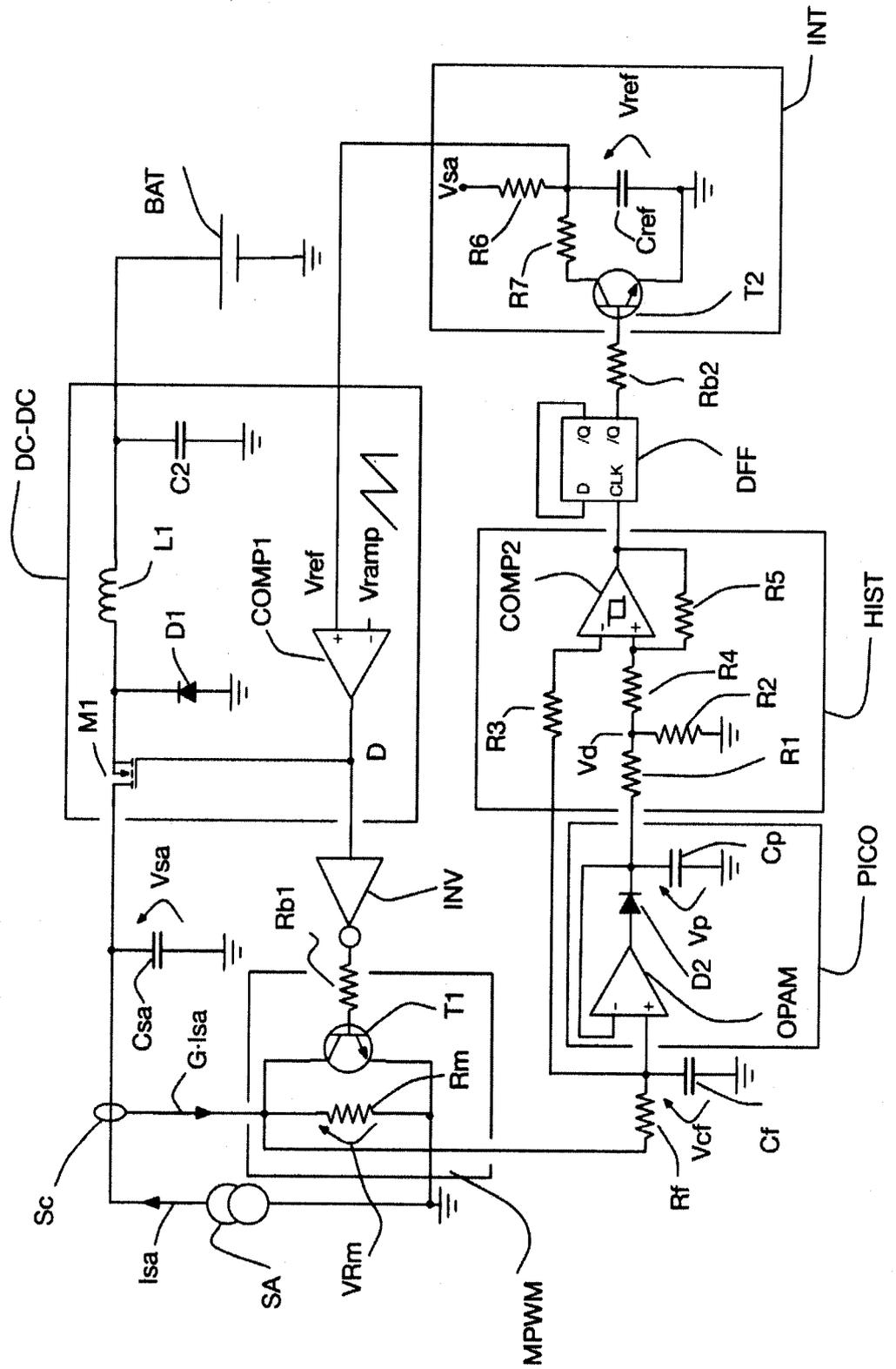
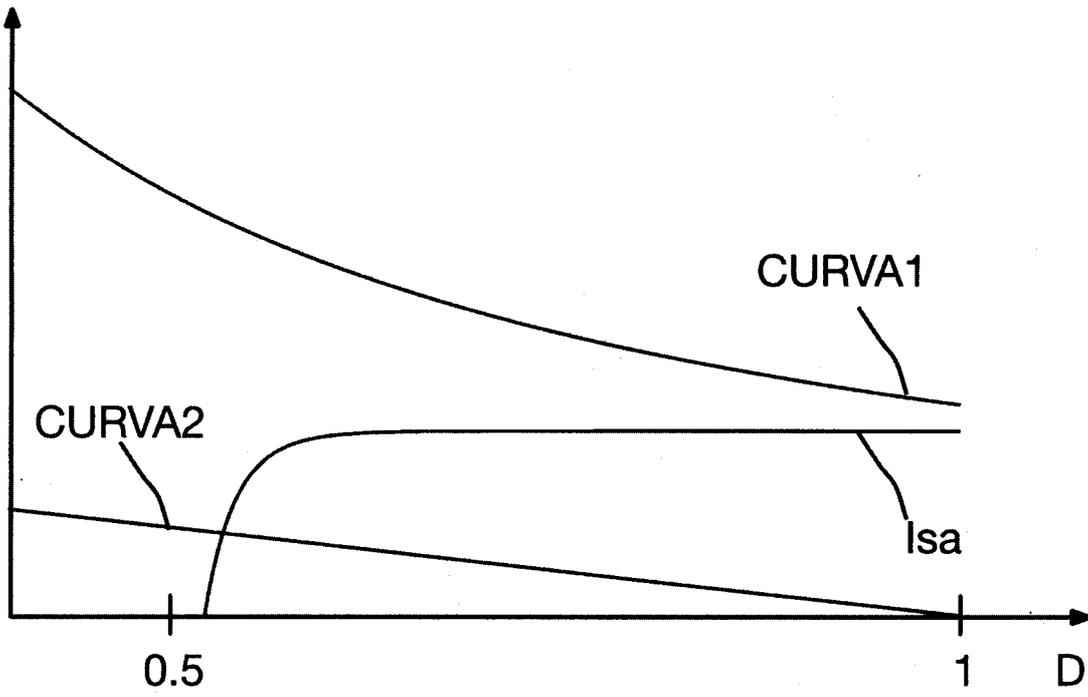
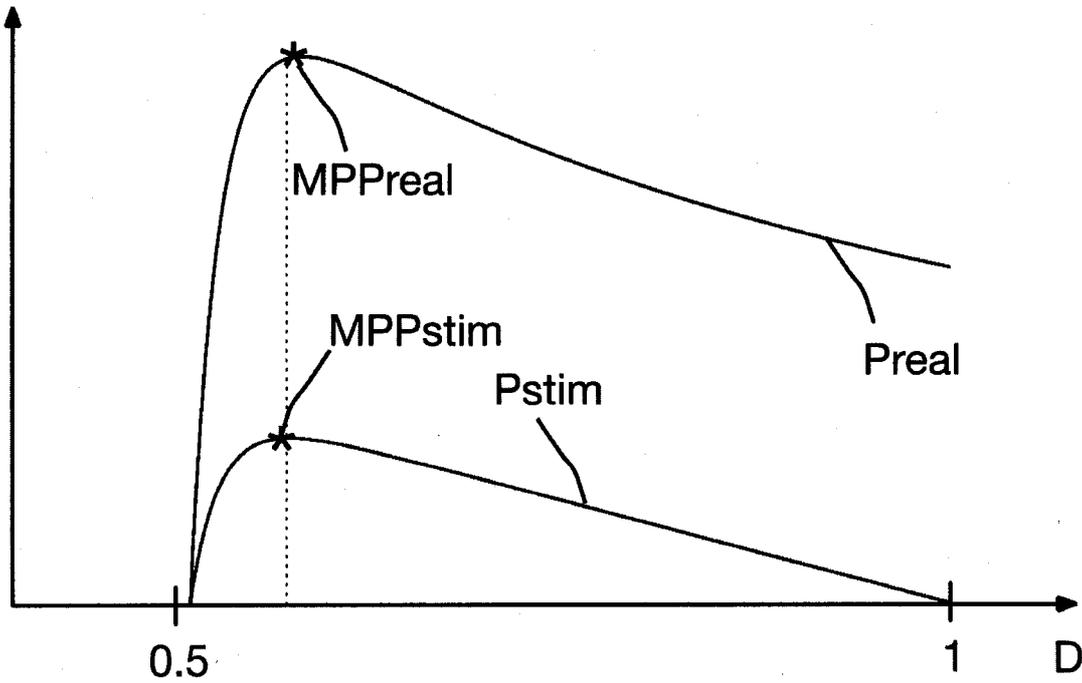


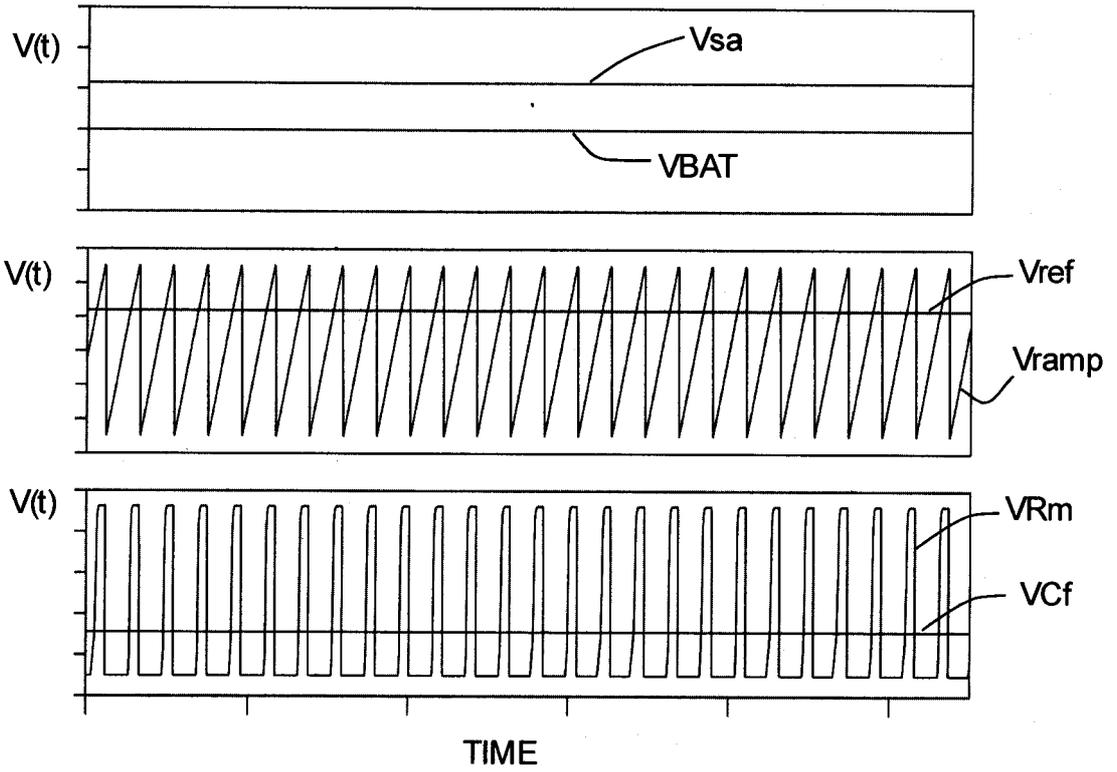
Figura 2



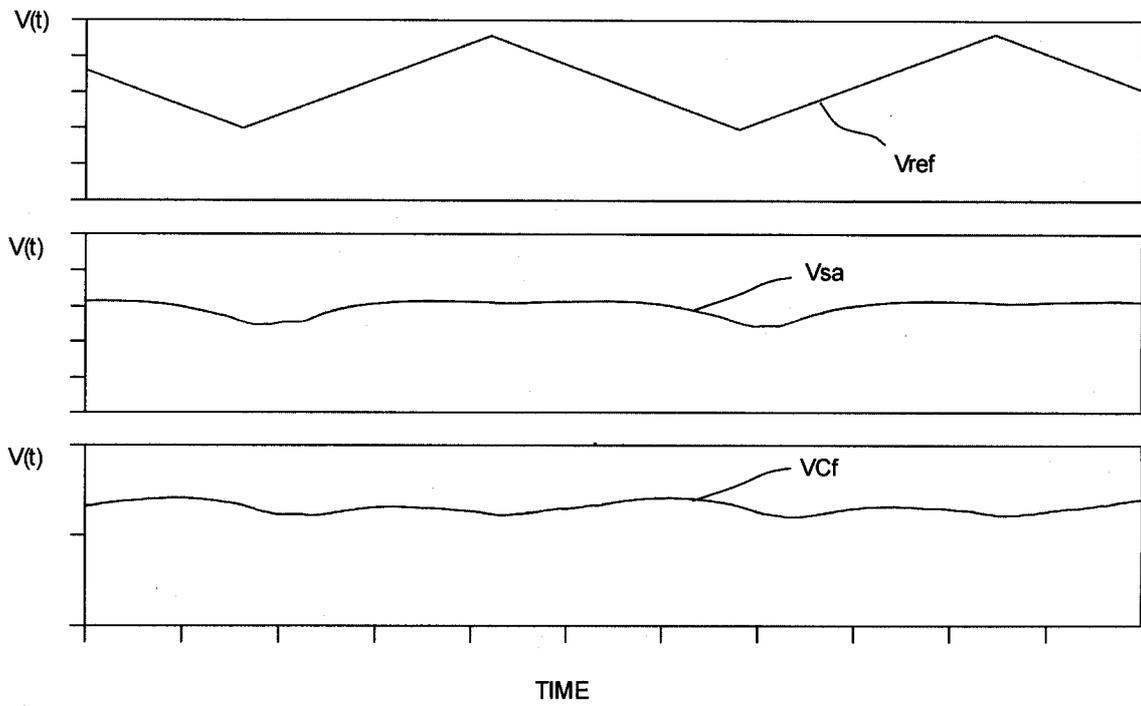
**Figura 3.a**



**Figura 3.b**



**Figura 4.a**



**Figura 4.b**





- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201500686  
 ②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 17.09.2015  
 ③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: **G05F1/67** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 2610698 A1 (SCHOOL JUDICIAL PERSON IKUTOKUGAKUEN) 03.07.2013, párrafos [0024]-[0041]; figuras 1,16; resumen.	1-8
A	Recuperado de EPODOC, base de datos EPOQUE, AN JP 2004280220 & JP 2004280220 A (TAMA TLO KK) 07.10.2004, resumen; figuras.	1-8

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<p><b>Fecha de realización del informe</b> 22.04.2016</p>	<p><b>Examinador</b> L. J. García Aparicio</p>	<p><b>Página</b> 1/4</p>
---	--	------------------------------

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

G05F

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

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 22.04.2016

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-8	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-8	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 2610698 A1 (SCHOOL JUDICIAL PERSON IKUTOKUGAKUEN)	03.07.2013
D02	Recuperado de EPODOC, base de datos EPOQUE, AN JP 2004280220 & JP 2004280220 A (TAMA TLO KK) 07.10.2004, resumen; figuras.	07.10.2004

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Es objeto de la presente invención, un circuito multiplicador que busca estimar el punto de trabajo de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico, que cuenta con un sensor de corriente  $I_c$  de salida del panel y un convertidor DC-DC y que comprende:

- un circuito troceador de la corriente sensada MPWM, sincronizado con el ciclo de continua-continua
- un circuito que calcula la tensión media a la salida del troceador del sensor de corriente
- un circuito que detecta y retiene la tensión máximo o de pico a la salida del circuito que calcula la tensión media del troceador de la corriente de salida del panel solar (PICO).
- Un circuito comparador (HIST) que compara la tensión retenida en el circuito que retiene la tensión máxima.
- Un circuito integrador de la tensión de salida del circuito comparador con histéresis (HIST) con una constante de tiempo
- Un circuito generador de la frecuencia de trabajo y del ciclo de trabajo del convertidor continua-continua (DC-DC)

El documento D01 se considera representa el estado de la técnica más cercano al objeto de la invención, en el que se divulga un sistema de generación, un método de control y un dispositivo de control que comprende un convertidor DC-DC, donde la unidad de control realiza un control PWM con respecto a un transistor MOSFET (242) definiendo la tensión óptima ser una tensión de referencia.

No se divulga en D01 que el circuito troceador de la corriente sensada esté implementado con un conmutador que cortocircuita la salida del sensor sincronizado con el complementario del ciclo de trabajo del convertidor DC-DC, contando para ello con un circuito comparador, con un circuito integrador y con un circuito generador de la frecuencia de trabajo.

Gracias a este sistema de estimación del punto de trabajo de máxima potencia se consigue repetir indefinidamente el ciclo oscilante ( $V_{sa}$ ) alrededor de la tensión del panel que hace que salga de él su potencia máxima.

Por lo tanto, a la vista de los documentos encontrados y analizados la materia de la reivindicación 1ª contaría con novedad y actividad inventiva según lo establecido en los Art. 6.1 y 8.1 de la LP 11/86, así como también las reivindicaciones dependientes.