

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 435**

51 Int. Cl.:

**H02J 7/35** (2006.01)

**H02M 3/158** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.01.2010 E 10290004 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **13.07.2011 EP 2343790**

54 Título: **Unidad y sistema de acondicionamiento de energía eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.01.2013**

73 Titular/es:

**AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (100.0%)**  
**8-10, rue Mario Nikis**  
**75738 Paris Cedex 15, FR**

72 Inventor/es:

**MOURRA, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 394 435 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Unidad y sistema de acondicionamiento de energía eléctrica

5 La invención se refiere a una unidad y un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica, en particular, para un bus de energía solar regulado. La invención se aplica, en particular, aunque no de forma exclusiva, en sistemas de alimentación de energía de vehículos espaciales.

10 En un satélite, o más generalmente, un vehículo espacial, la función principal de una unidad de acondicionamiento de energía (PCU) consiste en acondicionar la energía procedente de las fuentes correspondientes (constituidas normalmente por placas solares y baterías) y distribuirla a los usuarios de manera continua y en la forma adecuada a lo largo de toda la misión.

15 La figura 1 ilustra una arquitectura centralizada convencional para un bus de energía solar regulado, del tipo que se han incorporado en aparatos espaciales de la ESA como: Herschel Plank, Rosetta, Venus Express, Mars Express y Alphabus.

20 Un regulador de panel solar (SAR) extrae la energía del panel solar (SA, que genera una corriente  $I_{SA}$  y una tensión  $V_{SA}$ ) y la suministra al bus de energía regulado, a un nivel de tensión ( $V_{bus}$ ) y corriente ( $I_{SAR\_out}$ ) distinto. El bus se modela como una capacidad  $C_{bus}$ , y la corriente  $I_{bus}$  es absorbida por una carga modelada como la impedancia  $Z_{L1}$ .

Existen dos familias de reguladores de paneles solares que se utilizan de forma generalizada en vehículos espaciales:

25 a. Topologías de transferencia directa de energía, como el regulador *shunt* de conmutación ¿en serie? ( $S^3R$ ) (véase el documento US 4 186 336);

30 b. Convertidores de modulación por anchura de impulsos (PWM) con seguimiento del punto de máxima potencia.

Además del regulador del panel solar, la tarea de recargar las baterías BATT del vehículo a la luz del sol se debe llevar a cabo con una característica de tensión de batería que cambie durante la carga, absorbiendo corriente  $I_{BATT}$  del bus de energía y, al mismo tiempo, manteniendo la regulación de la tensión del bus. Esta función se realiza por medio del regulador de carga de batería (BCR).

35 Asimismo, durante los periodos de eclipse, se debe proteger el bus de energía de la variación en la tensión proporcionada por las baterías del vehículo espacial, añadiendo un regulador de descarga de batería (BDR) con PWM (modulación en ancho de pulso) con el fin de mantener el bus de energía a una tensión constante durante la descarga de las baterías.

40 Las ventajas del bus regulado son muy conocidas:

- simplificación de la interfaz de tensión de usuario, que da lugar a un convertidores secundarios con diseños más sencillos;

45 - mayor estandarización de los equipos;

- control de limpieza electromagnética (ECC) más sencillo;

50 - flexibilidad y optimización del diseño de la batería y el panel solar, que tienen más impactos en la masa del sistema que el equipo de acondicionamiento de energía.

55 Rara vez se incorporan buses regulados de energía centralizada en vehículos espaciales diseñados para funcionar en una órbita terrestre baja (LEO). Las órbitas LEO se caracterizan por una alta relación eclipse/órbita (33% aproximadamente); a consecuencia de ello, por ejemplo, una fuerte descarga de 0,5h se debe recargar en un periodo inferior a 1 h. La arquitectura tradicional de bus regulado de sistemas electrónicos de alimentación de energía (véase la fig. 1) aplicada a los vehículos espaciales LEO requeriría convertidores de energía grandes y pesados, especialmente reguladores de carga y descarga de baterías. Por este motivo, en los satélites LEO se suelen incorporar buses no regulados (conectados directamente a la batería, y, por tanto, con un nivel de tensión variable), con lo que se pierden las ventajas del bus regulado. Otro inconveniente de esta opción consiste en que las cargas de energía por impulsos provocan ruido conducido que debe ser tolerado por todos los usuarios del bus, incluido el equipo de servicio (plataforma), y este hecho tiende a complicar el diseño del equipo de usuario, incluida la necesidad de utilizar complejos convertidores de tipo PWM.

- Por este motivo, a veces se escoge la arquitectura de “convertidores en cascada” para separar los usuarios de la plataforma con respecto a las cargas de energía pulsada (fig. 2). Los usuarios de la plataforma ( $Z_{L1}$ ) reciben el suministro de un bus regulado y la carga útil pulsada de alta energía (que no se representa) está conectada directamente a la batería. Se ha incorporado dicha arquitectura en el vehículo espacial Aeolus de la ESA con el fin de reducir la masa de la PCU con respecto a la arquitectura regulada convencional. La energía se extrae del panel solar y se lleva a la batería con un S3R. Se incorporaron convertidores reductores al bus de la batería para generar un bus regulado. Para este ejemplo concreto, la tensión del bus regulado es menor que la tensión de la batería, que es inferior al punto de máxima potencia del panel solar, en cualquier condición:  $V_{bus} < V_{BATT} < V_{MPP}$ .
- La arquitectura en cascada proporciona una menor eficiencia que la centralizada. Además, con un S3R conectado a la batería, la energía transferida al bus depende tanto de las características del panel solar como de la tensión de la batería (variable). No obstante, la arquitectura en cascada resulta más fácil de controlar que la centralizada, y evita el uso de convertidores demasiado pesados en aplicaciones LEO.
- Se pueden usar ambas arquitecturas (bus regulado centralizado –figura 1- y regulador en cascada –figura 2-) con varios convertidores PWM, con el fin de:
- hacer funcionar los paneles solares a su punto de máxima potencia, con la ayuda de seguidores del punto de máxima potencia, para extraer la energía de los paneles solares;
  - gestionar la carga y descarga de la batería; y
  - generar un bus regulado centralizado y externo para otras unidades.
- Además, se deben usar arquitecturas completamente diferentes para misiones diferentes.
- La invención pretende proporcionar una arquitectura mejorada de la unidad de acondicionamiento de energía con una menor complejidad, mayor flexibilidad, un aumento en la eficiencia y/o una masa reducida.
- De acuerdo con la presente invención, este resultado se logra mediante la unidad de acondicionamiento de energía de la reivindicación 1, que comprende:
- un primer terminal para conectar un generador de energía eléctrica o una batería;
  - un segundo terminal para conectar una batería o un generador de energía eléctrica, respectivamente;
  - un tercer terminal para conectar un bus de energía;
- caracterizada porque** además comprende:
- una estructura reactiva conectada entre dicho segundo terminal y tierra, formada por una conexión en serie de un primer inductor, un condensador y un segundo inductor, y se proporcionan un primer y un segundo nodo entre el primer inductor y el condensador, y entre el condensador y el segundo inductor, respectivamente;
  - al menos una estructura de conmutación de salida para conectar el tercer terminal al primer y al segundo nodo a través de los respectivos conmutadores primero y segundo y un tercer inductor en serie; y
  - al menos una estructura de conmutación de entrada para conectar el primer terminal con al menos el primer nodo a través de un tercer conmutador.
- Las formas de realización particulares de dicha unidad de acondicionamiento de energía eléctrica se recogen en las reivindicaciones dependientes 2 a 6.
- Otro objeto de la invención consiste en un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica que comprende:
- dicha unidad de acondicionamiento de energía eléctrica; y
  - un primer circuito de control para generar una primera señal de modulación por ancho de pulso que acciona el primer conmutador de dicha unidad de acondicionamiento de energía, y dicho primer circuito de control incorpora un bucle de control de corriente para generar dicha primera señal de modulación por ancho de pulso usando una primera señal de realimentación de corriente proporcional a una corriente que circule a través de dicho tercer inductor en serie.
- Las formas de realización particulares de dicho sistema de acondicionamiento de energía eléctrica se recogen en las reivindicaciones dependientes 8 a 16.
- Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción, considerada junto con los dibujos adjuntos, que muestran:
- figuras 1 y 2: dos arquitecturas de bus de energía regulado de acuerdo con la técnica anterior;
  - figura 3: un esquema eléctrico de una unidad de acondicionamiento de energía de acuerdo con la invención, en su forma más general;

figura 4: un esquema eléctrico de una unidad de acondicionamiento de energía de acuerdo con una primera forma de realización de la invención;

figura 5: un diagrama que ilustra el estado operativo de la unidad de acondicionamiento de energía de la figura 4;

5 figura 6: un esquema eléctrico de una unidad de acondicionamiento de energía de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención;

figuras 7A y 7B: dos esquemas de estructuras de conmutación de entrada simplificadas para su uso en la unidad de acondicionamiento de energía de la figura 6;

10 figura 8: un diagrama de bloques de un sistema de acondicionamiento de energía que comprende la unidad de acondicionamiento de energía de la figura 4;

figura 9: un conjunto de diagramas que ilustran un funcionamiento incorrecto del sistema de acondicionamiento de energía de la figura 8;

figura 10: un conjunto de diagramas que ilustran un funcionamiento correcto del sistema de acondicionamiento de energía de la figura 8;

15 figura 11: un diagrama de bloques de un sistema de acondicionamiento de energía que comprende la unidad de acondicionamiento de energía de la figura 6;

figuras 12 a 17 y 21 a 23: diagramas que ilustran los resultados de las pruebas llevadas a cabo con el sistema de acondicionamiento de energía de la figura 11;

20 figura 18: el diagrama de un sistema de acondicionamiento de energía del tipo que se ilustra en la figura 11, que proporciona una redundancia activa;

figuras 19 y 20: un conjunto de diagramas que ilustran los resultados de una simulación numérica que muestra el funcionamiento del sistema de acondicionamiento de energía de la figura 8.

25 La figura 3 ilustra, en su forma más genérica, una unidad de acondicionamiento de energía de acuerdo con la invención.

Dicha unidad de energía posee tres terminales o puertas:

- 30 - una batería se puede conectar a la puerta A o a la puerta B;
- un panel solar (o un generador eléctrico diferente) se puede conectar a la puerta B o a la puerta A;
- la puerta C es una puerta de salida para generar un bus de energía regulado.

La unidad de energía está construida en torno a una estructura reactiva RS, conectada entre el terminal B y tierra, formada por una conexión en serie de un primer inductor L1, un condensador Ct1 y un segundo inductor L2.

35 La estructura reactiva RS también comprende dos nodos: D, situado entre L1 y Ct1; y E, situado entre Ct1 y L2.

Entre la puerta A y los nodos D y E hay conectada una estructura de conmutación de entrada ISWS. Entre los nodos D y E y el puerto C hay conectada una estructura de conmutación de salida OSWS. Más concretamente:

- 40 - La estructura de salida OSWS comprende un primer conmutador S1 conectado entre el nodo D y un tercer nodo F, un segundo conmutador S2 conectado entre el nodo E y el nodo F, y un tercer inductor L3 en serie con la conexión paralela de S1 y S2 entre el nodo F y la puerta C. El inductor L3 es necesario, ya que se puede conectar un generador de tensión (es decir, una batería o un panel solar que actúe en la parte de tensión de sus características) a la puerta A, y la puerta C se puede conectar a un bus regulado a un nivel de tensión diferente. No se pueden conectar dos generadores de tensión entre sí directamente: se necesita un inductor en serie para transformar uno de ellos en una fuente de corriente. Por este motivo, se debe proporcionar dicho inductor en serie entre la puerta A y la puerta B (L1), entre la puerta B y la puerta C (L1 en serie con L3) y también entre la puerta A y la puerta C (solo L3).
- 45 - La estructura de entrada ISWS comprende un tercer conmutador S3 conectado entre la puerta A y el nodo D. Dependiendo de la forma de realización de que se trate, también puede comprender un cuarto conmutador S4 conectado entre la puerta A y el nodo E, y/o un quinto conmutador S5 conectado entre el nodo D y tierra.

En la figura 3:

- 55 - VA, VB y VC son los niveles de tensión de las puertas A a C;
- IA, IL1, IL2 e IL3 representan la corriente que circula desde la puerta A hacia la estructura de conmutación de entrada y a través de los inductores L1, L2 y L3, respectivamente;
- 60 - CA, CB y CC son condensadores conectados entre las puertas A, B y C y tierra, respectivamente.

Los conmutadores S1 a S5 pueden ser:

- conmutadores no controlables, unidireccionales en corriente, es decir, rectificadores como, por ejemplo, diodos;

- conmutadores controlables, bidireccionales en corriente, por ejemplo, un transistor, como los MFET; o
- conmutadores controlables, unidireccionales en corriente, por ejemplo, un transistor (tal como un MFET) conectado en serie con un rectificador (como, por ejemplo, un diodo).

5 También se pueden incorporar conmutadores unidireccionales mediante el uso de rectificadores sincrónicos, es decir, conmutadores controlados (por ejemplo, MFET) accionados de manera adecuada. Los rectificadores sincrónicos son conocidos en el campo de la electrónica de la alimentación de energía; resultan ventajosos, ya que introducen una caída de tensión más baja que los rectificadores no controlados tales como los diodos.

10 En la presente solicitud, el término "rectificador" se usará como un termino general que indique tanto rectificadores no controlados, por ejemplo diodos, como rectificadores sincrónicos.

También puede haber varias estructuras de conmutación de entrada y/o varias estructuras de conmutación de salida conectadas en paralelo con una misma estructura reactiva RS. De este modo, la PCU de la invención puede controlar varios paneles solares o baterías, y/o generar una pluralidad de buses regulados.

15 Una de las ideas en las que se basa la invención consiste en que la estructura de conmutación de entrada forma, con la estructura reactiva RS, un primer convertidor CC/CC y la estructura de conmutación de salida forma, con la misma estructura reactiva RS, un segundo convertidor CC/CC. Los dos convertidores acondicionan la energía que circula entre las puertas A, B y C. Debido a que comparten los mismos elementos reactivos, su masa y su volumen son mucho menores que los de dos convertidores independientes, que se usan en las PCU convencionales. Además, modificando ligeramente las estructuras de conmutación, y sin alterar su topología, la unidad de la invención se puede adaptar a diferentes condiciones de funcionamiento, que suelen requerir una PCU completamente diferente.

20 La figura 4 muestra una PCU de acuerdo con una primera forma de realización de la invención, en la que:

- el primer conmutador está constituido por un MFET M1;
- el segundo conmutador está constituido por un diodo D2, que permite la circulación de la corriente desde la estructura reactiva hacia la puerta C;
- el tercer y cuarto conmutador están constituidos por respectivos MFET M3 y M4, y
- no existe un quinto conmutador.

25 Tal como se explica más arriba, el diodo D2 se podría sustituir por un rectificador sincrónico.

30 Una batería, con un condensador  $C_{BATT}$  en paralelo, está conectada con la puerta A. Un panel solar SA, también con un condensador  $C_{in1}$  en paralelo, está conectado a la puerta B.

35 La estructura de conmutación de entrada forma con la estructura reactiva RS un convertidor reductor-elevador (*buck-boost*) de dos inductores que, al estar dispuesto entre el panel solar (puerta B) y la batería (puerta A) actúa como BCR y como BDR. La estructura de conmutación de salida forma con la estructura reactiva RS un convertidor reductor de dos inductores. Dicha topología se podría denominar regulador reductor-reductor-elevador ( $B^3R$ ), ya que rebaja la energía transferida desde el panel solar a la batería en el modo de carga, rebaja la energía transferida desde el panel solar al bus regulado, y, por último, eleva la energía transferida desde la batería al bus a través de los nodos D y E en modo de descarga.

40 Las ecuaciones de CC del convertidor de la figura 4 entre las puertas A, B y C son:

$$V_{SA} = \frac{V_{BATT}}{d_3} = \frac{V_{BATT}}{1-d_4}$$

50 (para ambos modos, BCR y BDR)

$$V_{bus} = V_{SA} \cdot d_1$$

$$V_{CII} = V_{SA}$$

siendo  $d_1$ ,  $d_3$  y  $d_4$  los ciclos de trabajo de M1, M3 y M4, respectivamente.

La PCU de la figura 4 puede sustituir de forma ventajosa a la de la figura 1 o la figura 2. La figura 5 muestra las condiciones de funcionamiento correspondientes: las curvas CVI1 y CVI2 son las curvas V-I del panel solar SA para dos temperaturas diferentes, MPP1 y MPP2 son los puntos de máxima potencia correspondientes;  $V_{BUS}$  es la tensión del bus regulado y  $V_{BATT}$  es el rango admisible de tensión de la batería. Se puede observar que  $V_{MPP1/MPP2} > V_{BUS} > V_{BATT}$ .

La figura 6 muestra una PCU de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención, en la que:

- el primer conmutador está constituido por un MFET M1;
- el segundo conmutador está constituido por un diodo D2, que permite la circulación de la corriente desde la estructura reactiva hacia la puerta C;
- el tercer conmutador está constituido por un MFET M3 en serie con un diodo D3;
- el cuarto conmutador está constituido por un MFET M4, y
- el quinto conmutador está constituido por un diodo D5, que permite la circulación de la corriente desde tierra hasta el nodo D.

Tal como se explica más arriba, los diodos D2, D3 y/o D5 se podrían sustituir por respectivos rectificadores sincrónicos.

Un panel solar SA, con un condensador  $C_{in1}$  en paralelo, está conectado con la puerta A. Una batería, también con un condensador  $C_{BATT}$  en paralelo, está conectada a la puerta B.

La estructura de conmutación de entrada forma con la estructura reactiva RS un elevador de dos inductores superpuesto y no invertido y un reductor (*buck*) de un único inductor, que funcionan como un convertidor elevador DET reductor (DET significa transferencia de energía directa) entre el panel solar y la batería. Al igual que la anterior forma de realización, la estructura de conmutación de salida forma con la estructura reactiva RS un convertidor reductor de dos inductores, que se utiliza como BDR.

Dicha topología se podría denominar también regulador reductor-reductor-elevador ( $B^3R$ ), ya que eleva o transfiere directamente o rebaja la energía transferida desde el panel solar a la batería y rebaja la energía transferida desde el panel solar al bus regulado.

Las ecuaciones de CC del convertidor de la figura 6 entre las puertas A, B y C son:

$$V_{SA} = \frac{V_{BATT}}{d_3}$$

(en modo reductor, con  $d_4 = 0$ )

$$V_{SA} = V_{BATT} \cdot (1 - d_4)$$

(en modo elevador, con  $d_3 = 1$ )

$$V_{SA} = V_{BATT}$$

(en modo DET –transferencia de energía directa-, con  $d_3 = 1$  y  $d_4 = 0$ )

$$V_{bus} = V_{SA} \cdot d_1$$

(para todos los modos)

$$V_{C11} = V_{BATT}$$

(para todos los modos)

5 siendo de nuevo  $d_1$ ,  $d_3$  y  $d_4$  los ciclos de trabajo de M1, M3 y M4, respectivamente.

La PCU de la figura 6 puede sustituir de forma ventajosa a la de la figura 1 o la figura 2, siendo al mismo tiempo más sencilla y más flexible. La figura 12 muestra las condiciones de funcionamiento correspondientes:  $V_{bus}$  es necesariamente más baja que  $V_{BATT}$ , pero  $V_{MPP1/MPP2/MPP3}$  puede ser menor, mayor o igual a  $V_{BATT}$  y/o  $V_{bus}$ .

10 En algunos casos particulares, la PCU de la figura 6, y más particularmente su estructura de conmutación de entrada, se puede simplificar aún más.

15 La estructura simplificada de la figura 7A, en la que el tercer conmutador está constituido por un sencillo MFET M3 (sin diodo D3) y el cuarto conmutador se suprime, se puede usar cuando  $V_{MPPT1/MPPT2}$  sea constantemente mayor que  $V_{BATT}$ . De hecho, esta estructura de entrada forma con la estructura reactiva RS un convertidor reductor entre el panel solar y la batería. De nuevo, en esta estructura, el diodo D5 se podría sustituir por un rectificador sincrónico.

20 La estructura simplificada de la figura 7B, en la que el tercer conmutador está constituido por un sencillo diodo D3 (sin MFET M3) y el quinto conmutador se suprime, se puede usar cuando  $V_{MPPT1/MPPT2}$  sea constantemente menor que  $V_{BATT}$ . De hecho, esta estructura de entrada forma con la estructura reactiva RS un convertidor elevador de dos inductores entre el panel solar y la batería. De nuevo, en esta estructura, el diodo D3 se podría sustituir por un rectificador sincrónico.

25 Para que una PCU resulte adecuada para una aplicación real, debe ser posible incorporar un bucle de control estable de la misma con el fin de estabilizar su tensión de salida (es decir, la tensión del bus de energía) y de cargar la batería correctamente y realizar el seguimiento del punto de máxima potencia del panel solar cuando se requiera. En la técnica se sabe que el control de los convertidores CC/CC conmutados no siempre es fácil, debido a que algunas topologías presentan ceros en el semiplano derecho. En el presente caso, dos convertidores –que se tienen que controlar de forma simultánea- comparten los mismos elementos reactivos (estructura reactiva RS), y por lo tanto, interfieren entre sí, lo cual podría afectar a la estabilidad de un bucle de control. No obstante, un análisis detallado de las PCU de las figuras 4 y 6 muestra que, ciertamente, es posible lograr un control estable.

35 La figura 8 muestra un sistema de acondicionamiento de energía de acuerdo con una forma de realización de la invención, construido en torno a una PCU del tipo que aparece en la figura 4.

40 En el lado del bus, un bucle de corriente de salida convencional (OCL) crea una señal de PWM para controlar M1 y se incorpora un bucle de tensión de salida (OVL) con el fin de regular la tensión del bus. Más concretamente, el bucle de tensión de salida OVL lo constituye un amplificador MEA diferencial que genera una señal VMEA proporcional a la diferencia entre  $V_{bus}$  y un valor de tensión de referencia REF. El bucle de corriente de salida OCL lo constituye un amplificador de corriente diferencial AI que genera una señal proporcional a la diferencia entre VMEA y una señal de realimentación de corriente SIL3 proporcional a la corriente que circula a través de L3. Un comparador CMP1 recibe en sus tomas de entrada una señal en diente de sierra SW1 y SD y genera en su toma de salida una señal de PWM que acciona M1 (PWM M1). El bucle de corriente de salida y el bucle de tensión de salida están constituidos por un primer circuito de control CC1.

45 En el lado de la entrada, un bucle de corriente de batería BCDR\_CL controla la corriente que circula hacia o desde la batería. En torno a este bucle de corriente de batería, se incorpora un bucle de tensión de entrada IVL, que controla la tensión del panel solar.

50 El valor de referencia de la corriente SPI lo proporciona un amplificador diferencial AV que recibe:

- en una primera puerta de entrada, una señal de realimentación SVIN que es una función de  $-y$ , en particular, es proporcional a la tensión en la entrada del convertidor (es decir, la tensión del panel solar VSA); y
- 55 - en una segunda puerta de entrada, un valor de consigna de tensión que se puede proporcionar mediante un seguidor del punto de máxima potencia MPPT (SPV) o mediante un módulo de gestión de batería BMM (SPV').

Se requiere un funcionamiento en el punto de máxima potencia cuando:

- 60 - la potencia máxima proporcionada por el panel solar resulta insuficiente para satisfacer la demanda de energía de la carga (y la diferencia la proporciona la batería);

- o la potencia máxima proporcionada por el panel solar es suficiente para satisfacer la demanda de energía de la carga, pero insuficiente para cargar la batería parcialmente descargada en su máxima corriente de carga o referencia de fin de carga.

5 Se proporciona el módulo de gestión de batería BMM con el fin de controlar la unidad de acondicionamiento de energía cuando no se requiera un funcionamiento en el punto de máxima potencia. El módulo de gestión de batería BMM incorpora un bucle de control provisto de una primera señal de realimentación SIB que es una función de (y, en particular, es proporcional a) la tensión de la batería, así como los valores de referencia de corriente y tensión  $V_{ref}$  e  $I_{ref}$ . Cuando la batería está descargada, la gestión de batería controla el SAR mediante la señal SPV' con el fin de garantizar una corriente de carga de batería proporcional al valor de referencia  $I_{ref}$ . Cuando concluye la carga de la batería, la gestión de batería controla el BCDR\_CL de la figura 8 (o el SAR\_CL de la figura 11) mediante la señal SPV' con el fin de garantizar una tensión de batería de fin de carga proporcional al valor de referencia  $V_{ref}$ .

15 Los módulos de gestión de baterías son conocidos de por sí. Véase, por ejemplo, la ponencia de Nikolaus Breier, Bernhard Klewe y Oliver Mourra "The Power Control and Distribution Unit for the Swarm Satellites", en la European Space Power Conference ESPC 2008, celebrada del 14 al 19 de septiembre de 2008 en Constanza, Alemania.

20 Se proporcionan medios de selección con el fin de elegir entre el valor de consigna de tensión SPV del MPPT y el valor de consigna de tensión alternativo SPV' proporcionado por el módulo de gestión de batería BMM. En sus formas más sencillas, ilustradas en las figuras 8 y 11, dichos medios de selección están constituidos por un "OR" lógico, incorporado mediante el cableado conjunto de las salidas del MPPT y del BMM. El "OR" lógico incorpora una función "mín" o "máx" de sus entradas. Si la demanda de energía es mayor de lo que puede proporcionar el SAR, el valor de consigna SPV' del BMM experimenta una alta (o baja) saturación. Por lo tanto, el valor de consigna de tensión alternativo SPV generado por el MPPT se hace con el control, ya que es menor (respectivamente: mayor) que la señal saturada, con el fin de extraer la máxima potencia del panel solar mediante el control de la tensión del panel solar.

30 El bucle de corriente de batería BCDR\_CL está constituido por un amplificador de corriente diferencial AI' que genera una señal SD' proporcional a la diferencia entre SPI y una señal de realimentación de corriente SIL proporcional a la corriente de la estructura de conmutación desde la puerta A, conectada a la batería.

Dos comparadores CMP3 y CMP4 reciben en sus tomas de entrada SD' y las respectivas señales en diente de sierra SW3 y SW4 y generan en sus tomas de salida señales de PWM que accionan M3 y M4.

35 El bucle de corriente de batería y el bucle de tensión de entrada están constituidos por un segundo circuito de control CC2.

La gráfica de la figura 9 muestra, de arriba hacia abajo, gráficas de:

40 la corriente IL3, que circula a través del inductor L3;  
 la corriente IL2, que circula a través del inductor L2;  
 la corriente IL1, que circula a través del inductor L1;  
 la corriente IA, que circula a través de la puerta A;  
 45 las señales en diente de sierra SW1 y SW3/SW4, que se toman de forma sincrónica y en fase una con respecto a la otra, y, por lo tanto, están superpuestas en la figura;  
 PWM M1;  
 PWM M4.

50 En la figura 9 se puede observar que cuando todas las señales en diente de sierra (SW1 y SW3/SW4) son sincrónicas y sin retardo de fase, la corriente del inductor del bus IL3 contiene varios máximos y mínimos durante un periodo. Esto constituye un problema, ya que PWM1 se obtiene mediante la comparación de un diente de sierra triangular con IL3, que se supone que solo tiene un máximo y un mínimo durante el periodo de diente de sierra. Por lo tanto, cuando las señales en diente de sierra SW1 y SW3/SW4 son sincrónicas y no tienen retardo de fase, el control de la tensión del bus no funciona correctamente.

55 La figura 10 corresponde a la figura 9, pero para el caso en el que SW3 y SW4 son sincrónicas y están en fase una con respecto a la otra, pero con un retardo de  $180^\circ$  con respecto a la señal en diente de sierra del bus de energía regulado, SW1. Ahora la ondulación de la corriente del bus regulado (IL3) no es exactamente triangular, pero solo contiene un máximo y mínimo durante el periodo en diente de sierra. Dicha ondulación de la corriente no desestabiliza el bucle de corriente y se puede usar en un circuito de bucle de corriente media o de cresta.

60 El sistema de acondicionamiento de energía de la figura 8 se ha sometido a ensayos, por medio de simulaciones numéricas, en diferentes condiciones.

Una primera simulación constituye una imagen de lo que sucede cuando un vehículo espacial sale del eclipse con un panel solar incapaz de proporcionar suficiente energía para alcanzar la máxima carga de corriente de la batería. En este caso particular (véase figura 9), el MPPT extrae la máxima energía del panel solar para alimentar en primer lugar al bus de energía; el resto de la energía se transfiere para cargar la batería. En la tercera gráfica, contando desde arriba, la curva PSA representa la energía generada por el panel solar.

En la figura 19 se puede observar que la tensión del panel solar VSA se modula con una referencia triangular de baja frecuencia (inferior a 100 Hz) procedente de la celda del MPPT (SPV). El convertidor del lado del panel solar oscila alrededor del punto de máxima potencia (MPP) del panel solar. Se puede observar que la tensión del punto de máxima potencia es mayor que la tensión del bus, de aproximadamente 57V. En el lado del bus, el bus de energía está regulado a 28V. La tensión de la batería en esta simulación es de aproximadamente 16V y se encuentra por debajo de la tensión del bus regulado. La tensión de la batería aumenta ligeramente, ya que se le inyecta cierta cantidad de corriente (6A) para recargarla.

Se ha llevado a cabo una segunda simulación (figura 20) para la situación en la que la energía demandada por el bus regulado es mayor que la energía del panel solar disponible. Dicho de otro modo, el MPPT del convertidor está operativo y extrae la máxima energía del panel solar, pero el regulador de descarga de batería debe proporcionar el resto de la energía a fin de garantizar la regulación del bus de energía.

En la figura 20 se puede observar que la tensión del panel solar VSA se modula con una referencia triangular de baja frecuencia procedente de la celda del MPPT (SPV). El convertidor del lado del panel solar oscila alrededor del punto de máxima potencia (MPP) del panel solar. Una vez más, la tensión del punto de máxima potencia es mayor que la tensión del bus (aquí, de aproximadamente 53,5V).

En el lado del bus, el bus de energía está regulado a 28V. La tensión de la batería en esta simulación es de aproximadamente 15V y se encuentra por debajo de la tensión del bus regulado.

Esta segunda simulación corresponde a un caso excepcional, ya que la batería recibe una demanda cuando existe luz solar, a fin de garantizar la regulación del bus. Dicho pico de demanda del bus de energía se producirá durante un breve periodo. De hecho, el resto de la luz solar será suficiente para recargar por completo la batería antes de entrar en la fase de eclipse.

No obstante, es importante considerar esta simulación, ya que demuestra, junto con la primera, que el bucle de tensión de entrada (IVL) es capaz de seguir la demanda (SPV) desde la celda del MPPT mediante la regulación de la tensión del panel solar con una corriente de batería positiva (descarga) y una negativa (carga).

En ambas simulaciones, la regulación del bus de energía no se ve afectada por el seguimiento en el lado del panel solar.

La figura 11 muestra un sistema de acondicionamiento de energía de acuerdo con otra forma de realización de la invención, construido en torno a una PCU del tipo que se ilustra en la figura 6. La parte de control de este sistema es análoga a la que ya se ha descrito en referencia a la figura 8; en este caso, la arquitectura de control también está basada en un bucle de control, SAR\_CL, anidado dentro de un bucle de tensión de entrada IVL. Y también en este caso, la relación de fase entre las señales en diente de sierra es importante. Pero ahora, para garantizar un control estable, se requiere que las señales en diente de sierra SW1 y SW3/SW4 sean sincrónicas y carezcan de retardo de fase.

Si la PCU de la figura 11 se sustituye por una simplificada, de acuerdo con la figura 7A o 7B, el segundo circuito de control solo tiene que generar la segunda o la tercera señal de PWM.

El sistema de acondicionamiento de energía de la figura 11 ha sido sometido a ensayos en laboratorio y los resultados se muestran en las figuras 21, 22 y 23. Para todas las figuras, el convertidor se encuentra en modo MPPT. En la figura 21,  $V_{Mpp} > V_{BATT}$ ; en la figura 22,  $V_{Mpp} < V_{BATT}$ ; y en la figura 23  $V_{Mpp} = V_{BATT}$ .

En estas gráficas se puede observar que el bucle de tensión de entrada se controla de manera que el convertidor del lado del panel solar oscile alrededor del MPP a una frecuencia baja. En el lado del bus de energía, la regulación también está operativa durante el funcionamiento con MPPT y mantiene la tensión del bus a 15V.

Los ensayos en laboratorio también han permitido medir la eficiencia del sistema de acondicionamiento de energía mediante la emulación de sus condiciones operativas en un vehículo espacial LEO. Estas condiciones se ilustran en la figura 12, en la que CVI1, CVI2 y CVI3 son las características I-V de un panel solar constituido por 14 celdas en serie a +100°C, +35°C y -100°C, respectivamente. Las correspondientes tensiones del MPP son: 24V, 31V y 42V. La tensión del bus se regula a 28V y la tensión de la batería varía entre 31 V (descargada) y 42 V (completamente cargada).

En la figura 13, las curvas 1 y 2 representan la eficiencia de la PCU durante el eclipse, cuando el panel solar no produce energía. En estas condiciones, la estructura de conmutación de entrada permanece inactiva (el bucle de corriente de la batería SAR\_CL tiene una saturación alta o baja, dependiendo de la realización específica, M3 está abierto y M4 está cerrado, o viceversa) mientras la estructura de conmutación de salida está conmutando para reducir la tensión de la batería hasta la tensión del bus. Las curvas 1 y 2 corresponden, respectivamente, a los casos extremos  $V_{BATT} = 42V$  (al comienzo del eclipse, cuando la batería está completamente cargada) y  $V_{BATT} = 31V$  (el peor caso, al final del eclipse, cuando la batería está descargada). Se puede observar que la eficiencia es mayor cuando la tensión de batería se acerca a la tensión del bus; esto resulta ventajoso, ya que cuanto más se descargue la batería, más aumenta la eficiencia, con lo que se ahorra energía.

Al final del eclipse, la batería está descargada (31V), el bus regulado a 28V y los paneles solares están fríos (-100 grados). El MPP es alto (42V) y está lejos de la tensión de la batería.

En estas condiciones, la estructura de conmutación de entrada se acciona para reducir la tensión del panel solar hasta el nivel de la batería, y la estructura de conmutación de salida reduce aún más esta tensión hasta el nivel del bus.

La figura 14 es una gráfica de contorno/densidad de la eficiencia de la PCU en función de la corriente del bus  $I_{bus}$  y de la corriente de la batería  $I_{bat}$ . De hecho, en estas condiciones, el panel solar debe alimentar el bus y cargar la batería al mismo tiempo. En la gráfica se puede observar que la eficiencia total de la PCU, considerando todas las corrientes y tensiones de las puertas, puede superar el 98%.

Al final del periodo de luz solar, la batería está completamente cargada (42V) y el panel solar está caliente, a 100°C, lo cual da lugar a una tensión de MPP más baja (24V). En estas condiciones, la tensión del panel solar se debe elevar hasta el nivel de la batería y después reducir hasta el nivel del bus. Esto, en términos de eficiencia, no resulta óptimo. No obstante, la figura 15 muestra que aún es posible lograr una eficiencia que supere el 94% y, ya que la batería está completamente cargada, que el sistema de energía presente un exceso de energía del panel solar, y no esté en modo MPPT.

El sistema de acondicionamiento de energía también se ha sometido a ensayos de DET (transferencia de energía directa) entre el panel solar y la batería. En estas condiciones, la estructura de salida se acciona para reducir la tensión del panel solar y de la batería hasta el nivel del bus. La figura 16 corresponde a la DET entre un panel solar frío y una batería cargada, y la figura 17 a la DET entre un panel solar a 35°C y una batería descargada. En ambos casos, la eficiencia total de la PCU supera el 96%.

En un sistema de energía convencional (figura 1 o 2) la eficiencia total viene dada por el producto de las eficiencias de al menos dos convertidores PWM diferentes. Estos convertidores necesitan unos respectivos filtros de entrada y/o salida, y a menudo las conexiones entre ellos no están optimizadas debido a limitaciones mecánicas. La presente invención permite minimizar las pérdidas y, en particular, las pérdidas por conducción, usando un único convertidor basado en una única estructura reactiva. Esto da lugar a valores de eficiencia muy elevados, como se ha comprobado experimentalmente en el caso particular expuesto más arriba.

La aplicación de un sistema de acondicionamiento de energía de acuerdo con la invención en un vehículo espacial requiere la incorporación de un esquema de redundancia adecuado. Por ejemplo, la figura 18 presenta un sistema de energía exento de puntos únicos de fallo de un vehículo espacial con dos alas en el que, para cara ala de panel solar, se usan dos módulos PCU del tipo que se ilustra en la figura 11. En caso de fallo interno, el módulo averiado se desconecta gracias a los conmutadores de protección P1, P2 y P3.

En el lado de los circuitos de control, cada módulo de la PCU contiene un bucle de corriente de panel solar (SAR CL) específico. Gracias a este bucle, la corriente se comparte en el lado del panel solar entre los diferentes módulos acoplados a la misma ala. En torno a este SAR CL, se controla la tensión del ala del panel solar mediante un bucle de tensión de entrada (IVLA, IVLB). Las señales generadas por los bucles de tensión de entrada IVLA, IVLB son votadas por mayoría (MV) para proporcionar una demanda fiable (SPIA, SPIB) al SAR CL. El punto de consigna de la tensión del panel solar se proporciona mediante una señal fiable votada por mayoría (SPVA para el ala A y SPVB para el ala B) procedente de las celdas del MPPT redundantes o mediante una señal fiable votada por mayoría (SPV') procedente de los módulos de gestión de batería BMM redundantes. En el lado del bus, también se logra compartir la corriente del módulo gracias al bucle de corriente de salida (OCL) incorporado para cada módulo de la PCU. La regulación del bus se garantiza mediante una señal fiable del amplificador principal de error votada por mayoría (VMEA), procedente de los amplificadores principales de error (MEA). Un esquema de redundancia muy similar se puede aplicar a la arquitectura de la PCU de la figura 8.

**REIVINDICACIONES**

1. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica que comprende:

- 5 - un primer terminal (A) para conectar un generador de energía eléctrica (SA) o una batería (BATT);
- un segundo terminal (B) para conectar una batería o un generador de energía eléctrica, respectivamente;
- un tercer terminal (C) para conectar un bus de energía;

**caracterizada porque** además comprende:

- 10 - una estructura reactiva (RS) conectada entre dicho segundo terminal y tierra, formada por una conexión en serie de un primer inductor (L1), un condensador (Ct1) y un segundo inductor (L2), y se disponen un par de nodos, primero (D) y segundo (E), entre el primer inductor y el condensador, y entre el condensador y el segundo inductor, respectivamente;
- 15 - al menos una estructura de conmutación de salida (OSWS) para conectar el tercer terminal (C) al primer y al segundo nodo a través de los respectivos conmutadores primero (S1) y segundo (S2) y un tercer inductor en serie (L3); y
- al menos una estructura de conmutación de entrada (ISWS) para conectar el primer terminal (A) a al menos el primer nodo a través de un tercer conmutador (S3).

2. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que:

- 25 - el primer conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de salida es un conmutador controlado bidireccional en corriente (M1); y
- el segundo conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de salida es un rectificador (D2) conectado para permitir que la corriente circule hacia dicho tercer terminal, mediante el cual la estructura reactiva y la estructura de conmutación de salida forman un convertidor CC/CC reductor.

3. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 2, en la que:

- 30 - el tercer conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada es un conmutador controlado bidireccional en corriente (M3);

35 y en el que dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada también comprende un cuarto conmutador (S4, M4), que también está controlado y es bidireccional en corriente, para conectar el primer terminal a dicho segundo nodo;

por lo cual, la estructura reactiva y dicha estructura de conmutación de entrada forman un convertidor CC/CC elevador y reductor.

4. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 2, en la que:

- 40 - el tercer conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada es un conmutador controlado unidireccional en corriente (M3), conectado para permitir que la corriente circule únicamente desde dicho primer terminal hacia el primer nodo de la estructura reactiva;

45 y en el que dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada también comprende:

- un cuarto conmutador (M4), controlado y bidireccional en corriente, para conectar el primer terminal a dicho segundo nodo; y
- 50 - un rectificador (S5, D5) conectado entre el primer nodo y tierra, que permite que la corriente circule únicamente desde tierra hasta dicho primer nodo;

por lo cual, la estructura reactiva y dicha estructura de conmutación de entrada forman un convertidor CC/CC elevador, de transferencia directa de energía y reductor.

5. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 2, en la que:

- 55 - el tercer conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada es un rectificador (D3), conectado para permitir que la corriente circule únicamente desde dicho primer terminal hacia el primer nodo de la estructura reactiva;

60 y en el que dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada también comprende un cuarto conmutador (M4), controlado y bidireccional en corriente, para conectar el primer terminal a dicho segundo nodo; y por lo cual, la estructura reactiva y dicha estructura de conmutación de entrada forman un convertidor CC/CC elevador.

6. Una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 2, en la que:  
 - el tercer conmutador de dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada es un conmutador controlado bidireccional en corriente (M3);

5 y en el que dicha, o al menos una, estructura de conmutación de entrada también comprende un rectificador (D5) conectado entre el primer nodo y tierra, que permite que la corriente circule únicamente desde tierra hacia dicho primer nodo;

10 por lo cual, la estructura reactiva y dicha estructura de conmutación de entrada forman un convertidor CC/CC reductor.

7. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrico, que comprende:

15 - una unidad de acondicionamiento de energía eléctrica (PCU) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6; y  
 - un primer circuito de control (CC1) para generar una primera señal de modulación por ancho de pulso (PWM M1) que acciona el primer conmutador (M1) de dicha unidad de acondicionamiento de energía, y dicho primer circuito de control incorpora un bucle de control de corriente (OCL) para generar dicha primera señal de modulación por ancho de pulso usando una primera señal de realimentación de corriente (SIL3) proporcional a una corriente que circule a través de dicho tercer inductor en serie (L3).

8. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la unidad de acondicionamiento de energía es una unidad de acuerdo con la reivindicación 3, y que además comprende un segundo circuito de control (CC2) para generar:

25 - una segunda señal de modulación por ancho de pulso (PWM M3), que acciona el tercer conmutador (M3) de dicha unidad de acondicionamiento de energía; y  
 - una tercera señal de modulación por ancho de pulso (PWM M3), complementaria a dicha segunda señal de modulación por ancho de pulso, que acciona el cuarto conmutador (M4) de dicha unidad de acondicionamiento de energía;

30 y dicho segundo circuito de control incorpora un bucle de control de corriente (BCDR\_CL) para generar dichas segunda y tercera señales de modulación de ancho de pulso usando una segunda señal de realimentación de corriente (SIL) proporcional a la corriente que circula a través del primer terminal (A) de la unidad de acondicionamiento de energía.

9. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 8, en el que:

40 - dicho primer circuito de control (CC1) comprende unos medios para generar una primera señal de tensión en diente de sierra o triangular (SW1); y un primer comparador (CMP1) para comparar dicha señal en diente de sierra o triangular con un primer nivel de tensión de referencia (SD) dependiendo de dicha primera señal de realimentación de corriente (SIL3), y la primera señal de modulación por ancho de pulso corresponde a la salida de dicho primer comparador;

45 - dicho segundo circuito de control comprende: unos medios para generar una segunda señal de tensión en diente de sierra o triangular (SW3); y un segundo comparador (CMP3) para comparar dicha señal en diente de sierra o triangular con un segundo nivel de tensión de referencia (SD') dependiendo de dicha segunda señal de realimentación de corriente (SIL), y la segunda señal de modulación por ancho de pulso corresponde a la salida de dicho segundo comparador; y

50 - dicho segundo circuito de control también comprende: unos medios para generar una tercera señal de tensión en diente de sierra o triangular (SW4), sincrónica y en fase con dicha segunda señal de tensión en diente de sierra o triangular (SW3) y con desplazamiento u *offset* de la tensión con respecto a la misma; y un tercer comparador (CMP4) para comparar dicha señal en diente de sierra o triangular con dicho segundo nivel de tensión de referencia, y la tercera señal de modulación por ancho de pulso corresponde a la salida de dicho tercer comparador;

55 dichas segunda y tercera señales de tensión en diente de sierra o triangular son sincrónicas con respecto a dicha primera señal de tensión en diente de sierra o triangular y posee un retardo de fase de 180° con respecto a la misma.

60 10. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, en el que dicho segundo circuito de control también incorpora un bucle de control de tensión externo (IVL) para generar dicho segundo valor de tensión de referencia (SD') usando una primera señal de realimentación de tensión (SVIN) proporcional a un nivel de tensión del segundo terminal (B) de la unidad de acondicionamiento de energía.

11. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que además comprende:

- 5
- al menos una batería (BATT) conectada a la primera puerta (A) de la unidad de acondicionamiento de energía;
  - y
  - al menos un panel solar (SA) conectado a la segunda puerta (B) de dicha unidad de acondicionamiento de energía.

10

12. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la unidad de acondicionamiento de energía es una unidad de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, y que además comprende un segundo circuito de control (CC2) para generar al menos una segunda señal de modulación de ancho de pulso, que acciona un conmutador de la estructura de conmutación de entrada de la unidad de acondicionamiento de energía; y dicho segundo circuito de control incorpora un bucle de control de corriente (SAR\_CL) para generar dicha segunda señal de modulación de ancho de pulso usando una segunda señal de realimentación de corriente (SIL) proporcional a una corriente que circule a través del primer inductor de la estructura reactiva de la unidad de acondicionamiento de energía.

15

13. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 12, en el que:

- 20
- dicho primer circuito de control (CC1) comprende unos medios para generar un primera señal en diente de sierra o triangular (SW1); y un primer comparador (CMP1) para comparar dicha señal en diente de sierra o triangular con un primer nivel de tensión de referencia (SD) dependiendo de dicha primera señal de realimentación de corriente (SIL3), y la primera señal de modulación de ancho de pulso corresponde a la salida de dicho comparador;
- 25
- dicho segundo circuito de control comprende: unos medios para generar al menos una segunda (SW3) o tercera (SW4) señal de tensión en diente de sierra o triangular; y al menos un segundo comparador (CMP3, CMP4) para comparar dicha señal en diente de sierra o triangular con un segundo nivel de tensión de referencia (SD') dependiendo de dicha segunda señal de realimentación de corriente (SIL), y la segunda o la tercera señal de modulación por ancho de pulso corresponde a la salida de dicho segundo comparador;
- 30
- y dicha segunda o tercera señal de tensión en diente de sierra o triangular es sincrónica y está en fase con dicha primera señal de tensión en diente de sierra o triangular.

35

14. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, en el que dicho segundo circuito de control también incorpora un bucle de control de tensión externo (IVL) para generar dicho segundo valor de tensión de referencia (SD') usando una primera señal de realimentación de tensión proporcional a un nivel de tensión del primer terminal de la unidad de acondicionamiento de energía.

15. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 o de la 12 a la 14, que además comprende:

- 40
- al menos un panel solar (SA) conectado a la primera puerta (A) de la unidad de acondicionamiento de energía;
  - y
  - al menos una batería (BATT) conectada a la segunda puerta (B) de dicha unidad de acondicionamiento de energía.
- 45

16. Un sistema de acondicionamiento de energía eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 15, en el que dicho primer circuito de control también incorpora un bucle de control de tensión externo (OVL) para generar dicho primer valor de tensión de referencia usando una primera señal de realimentación de tensión ( $V_{bus}$ ) proporcional a un nivel de tensión del tercer terminal de la unidad de acondicionamiento de energía.

50

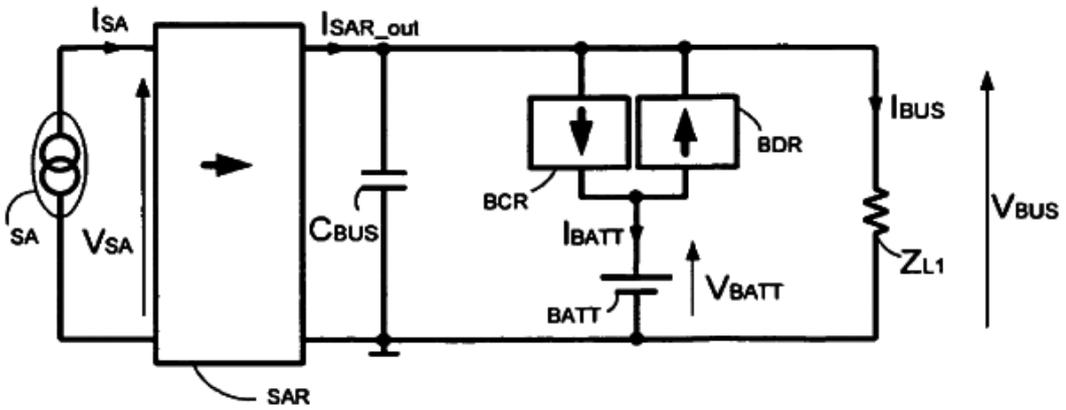


Fig. 1

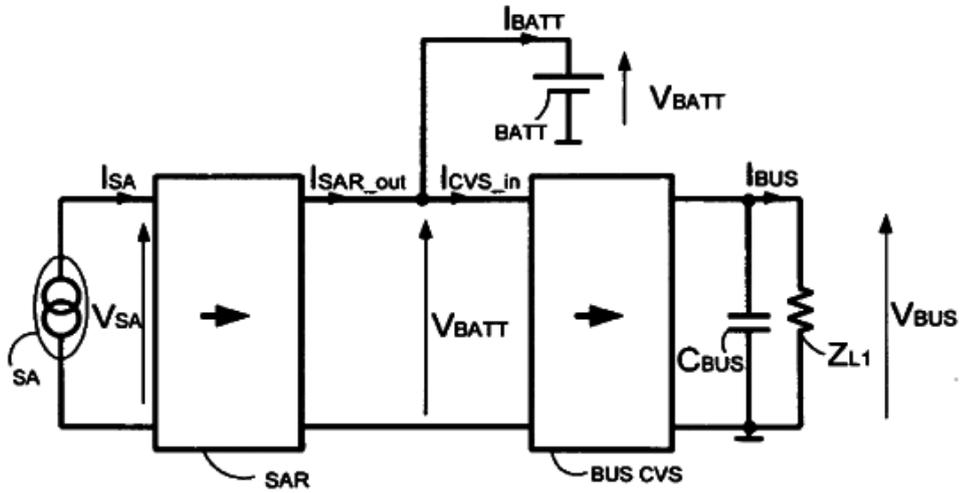


Fig. 2

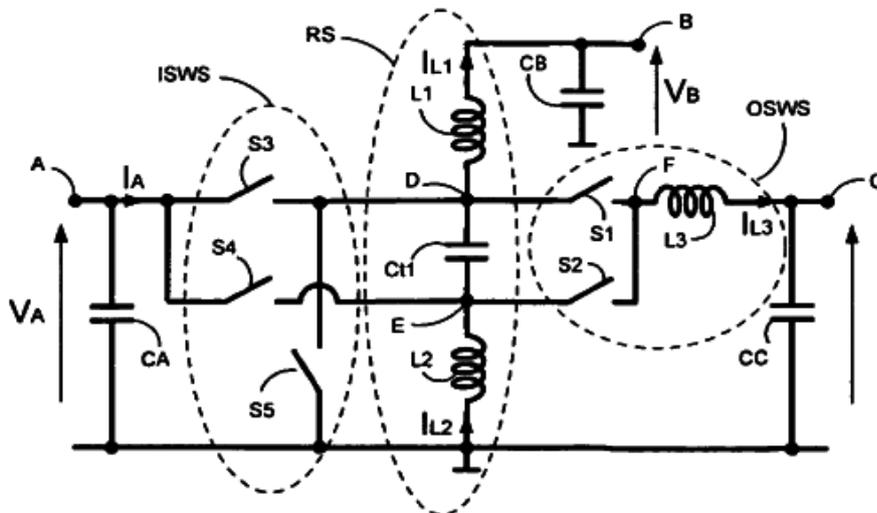


Fig. 3

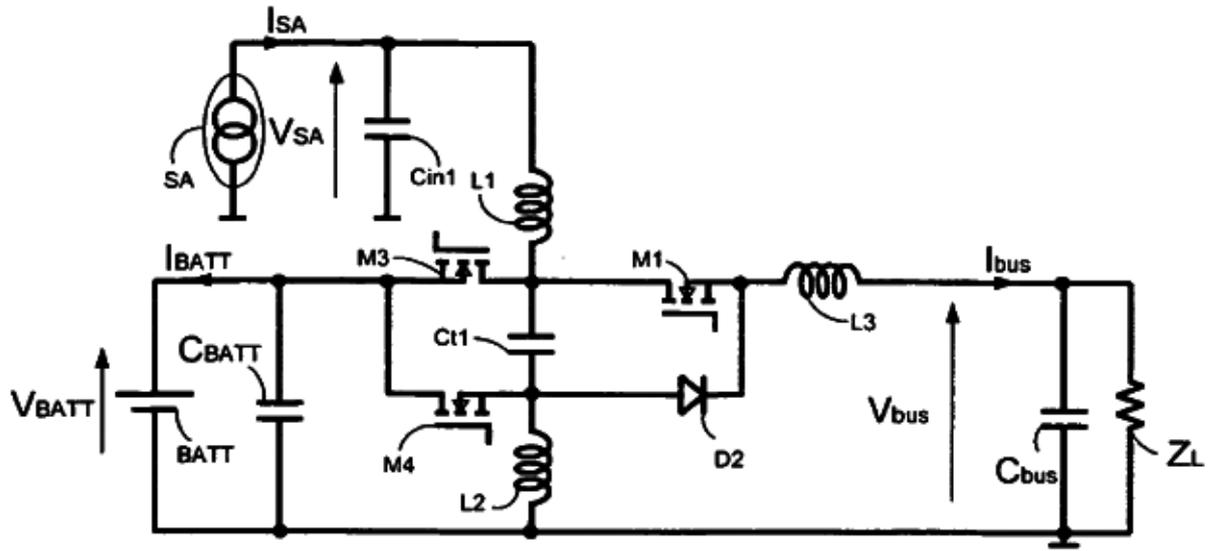


Fig. 4

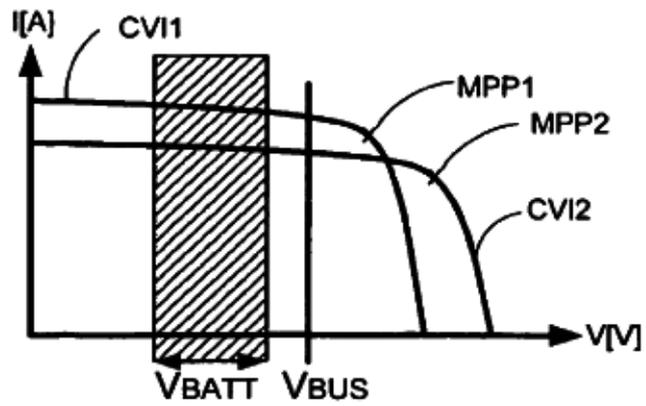


Fig. 5

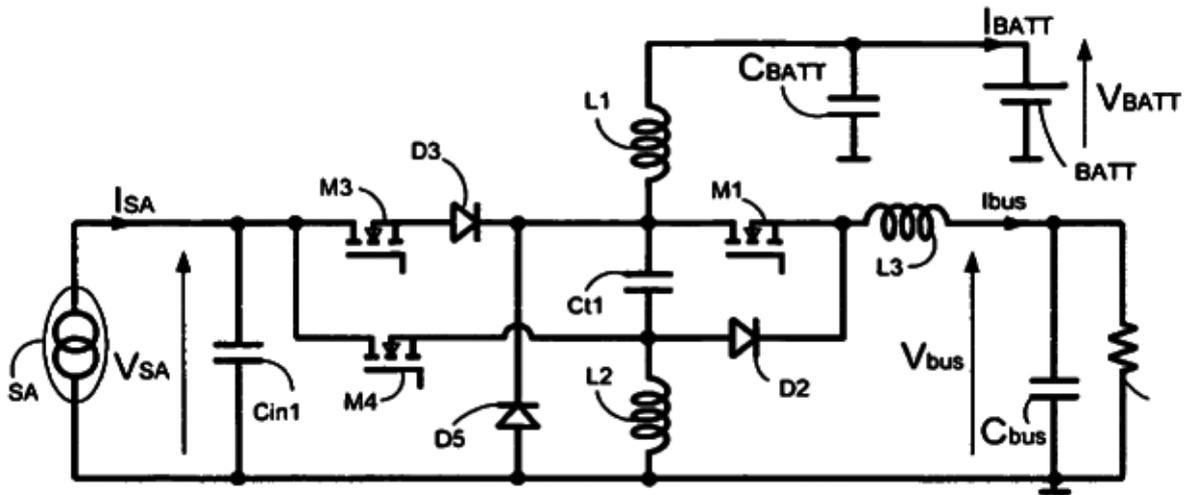


Fig. 6

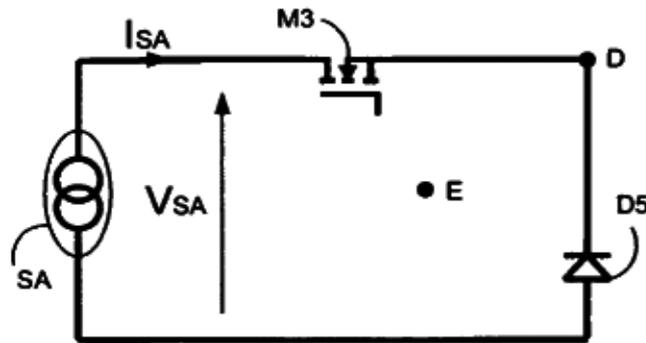


Fig. 7A

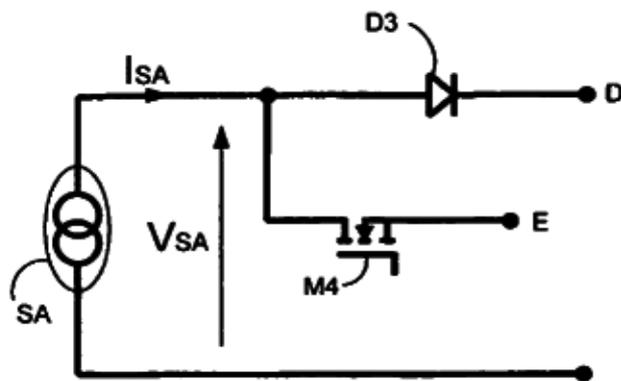


Fig. 7B

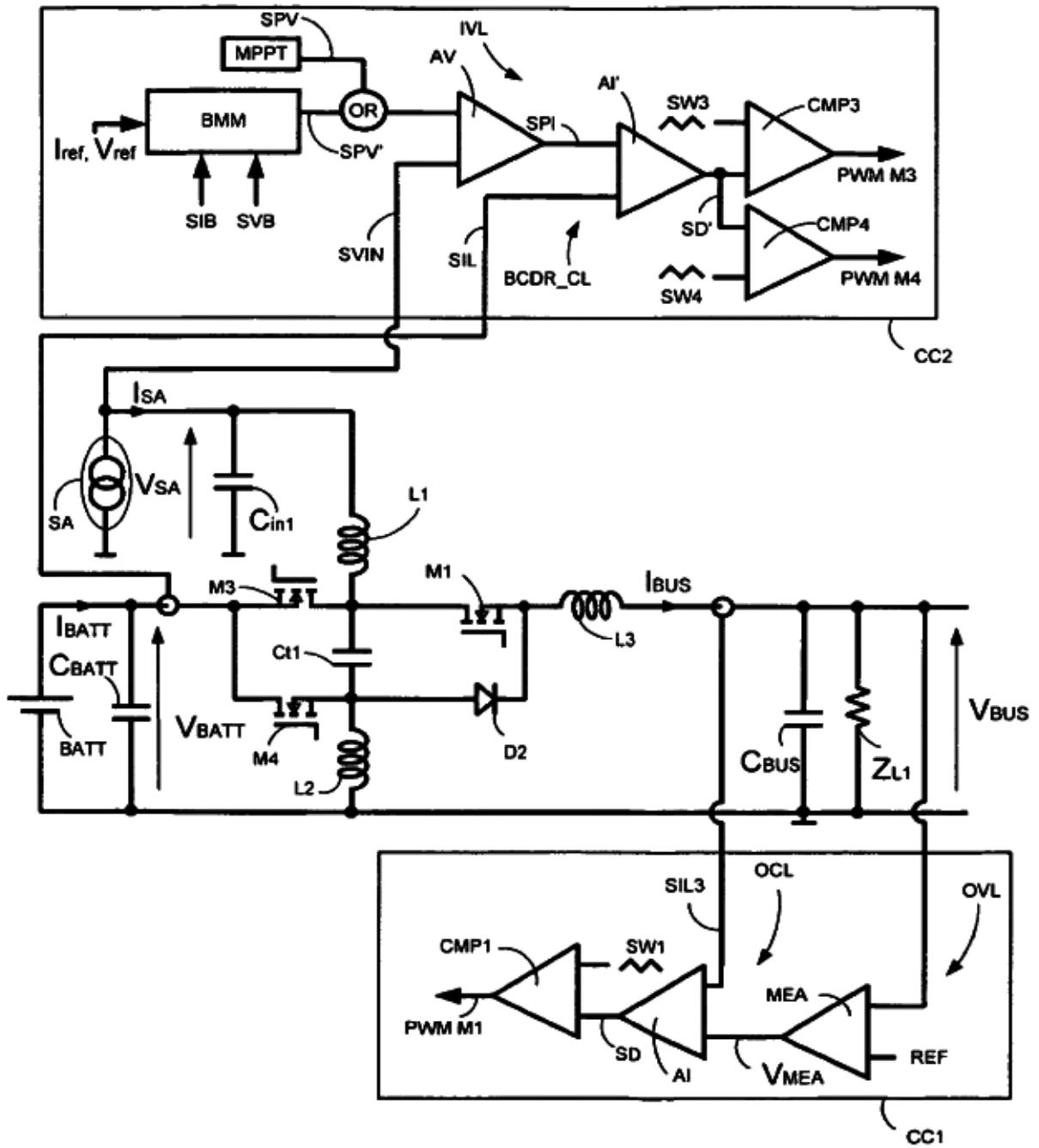


Fig. 8

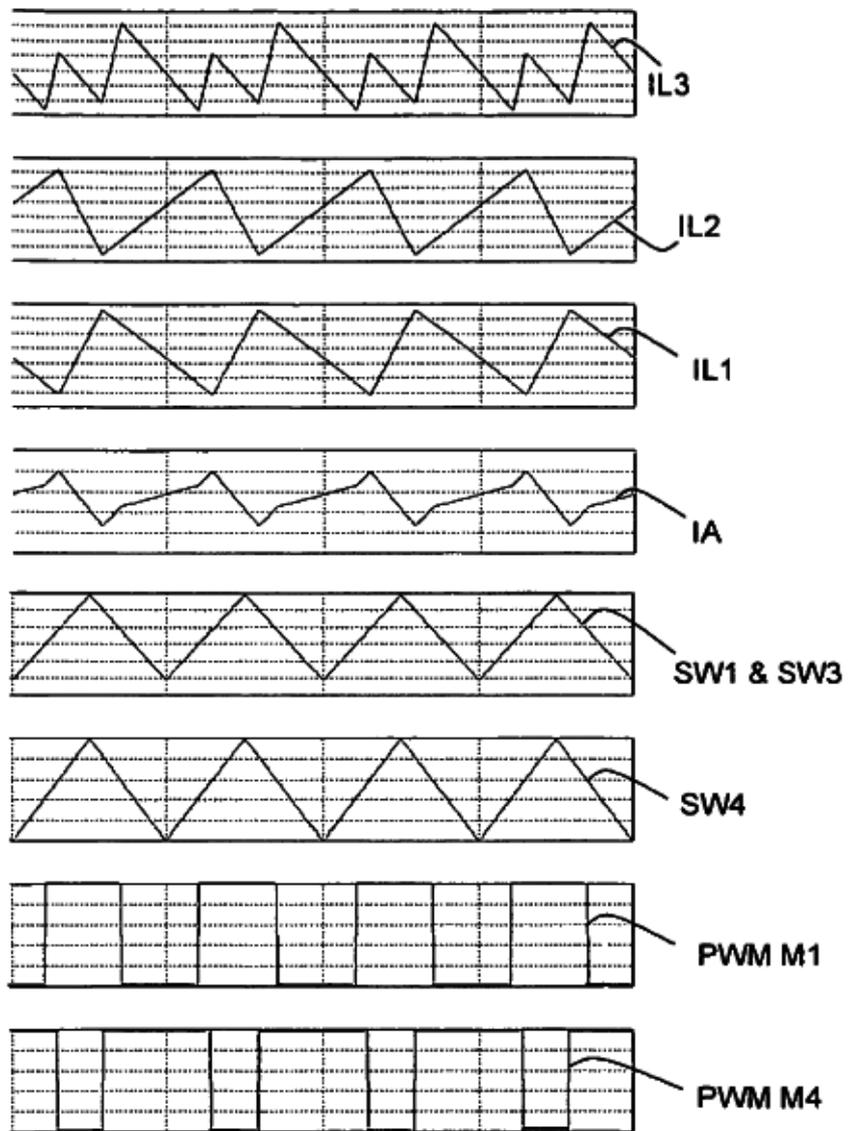


Fig. 9

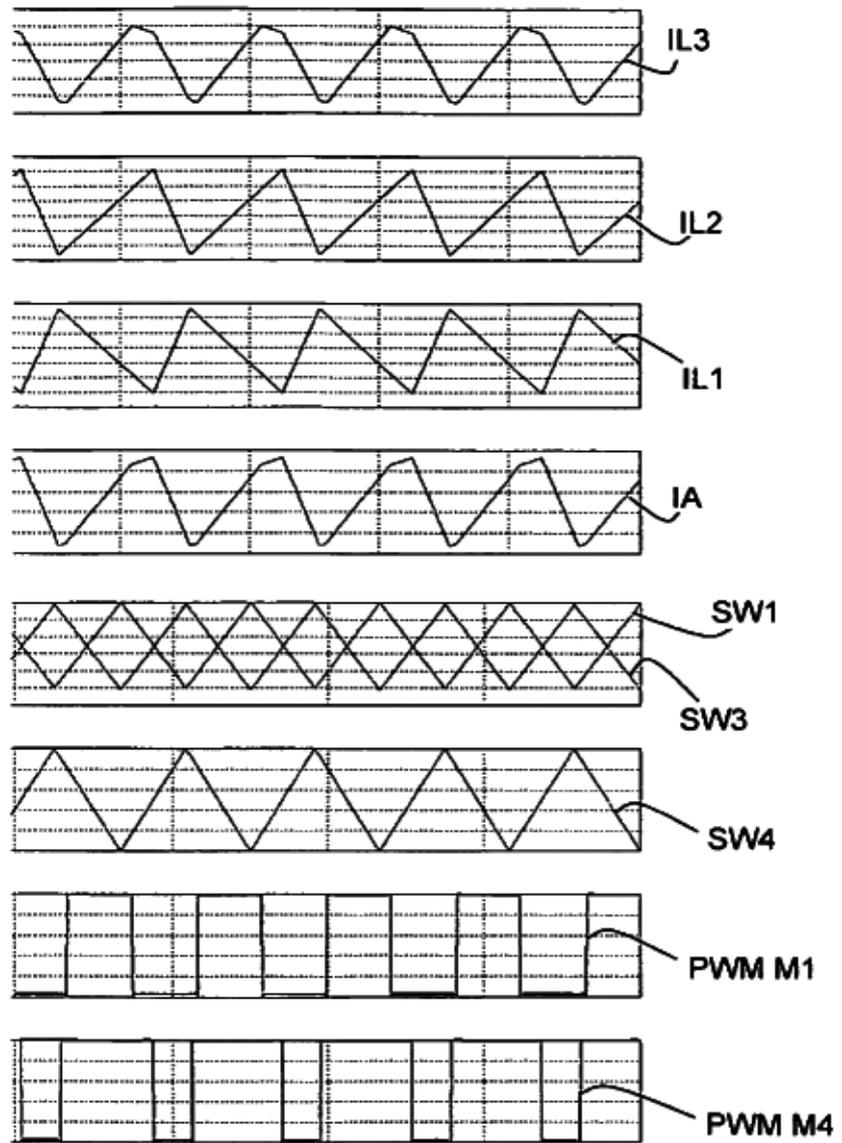


Fig. 10

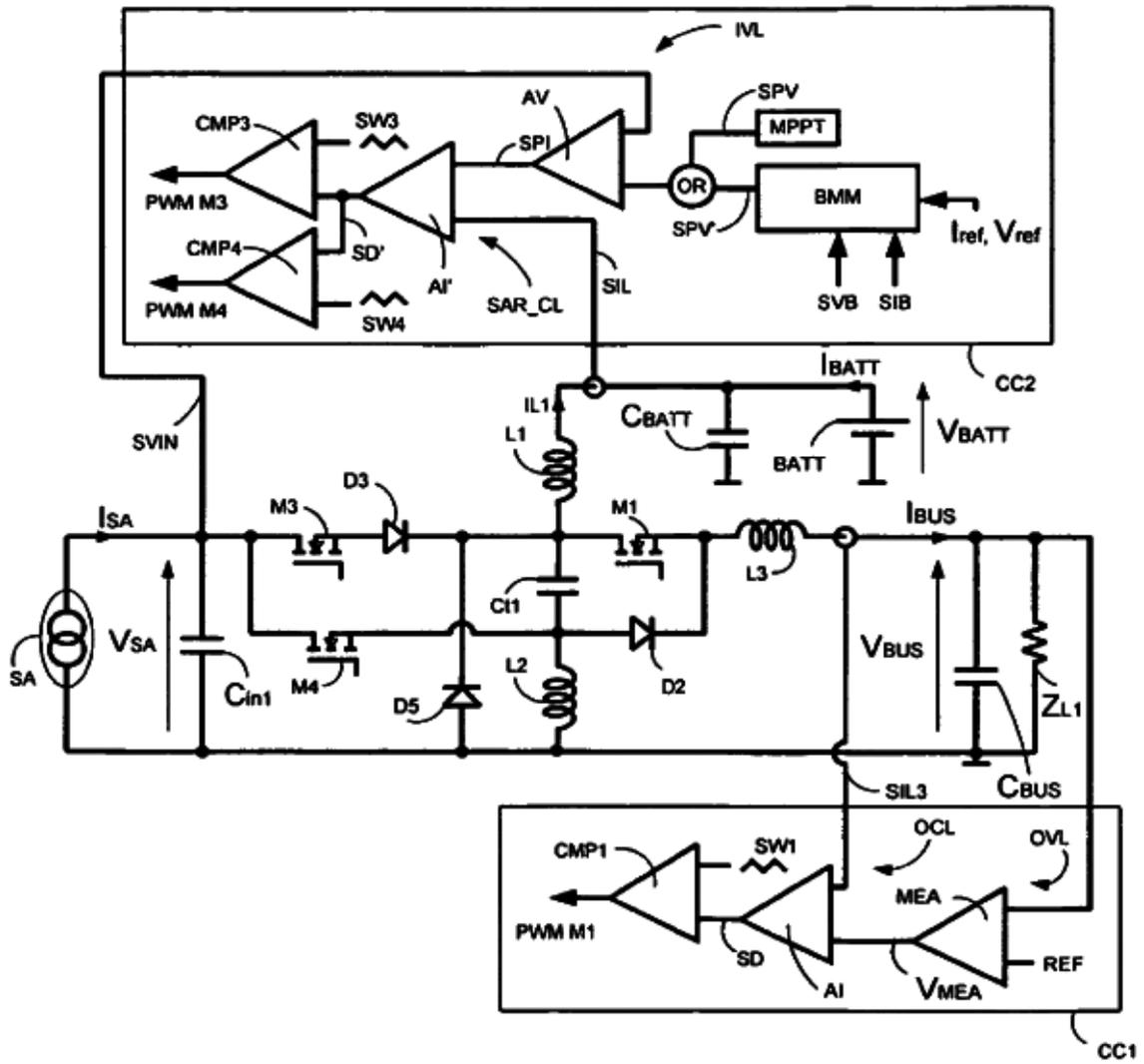


Fig. 11

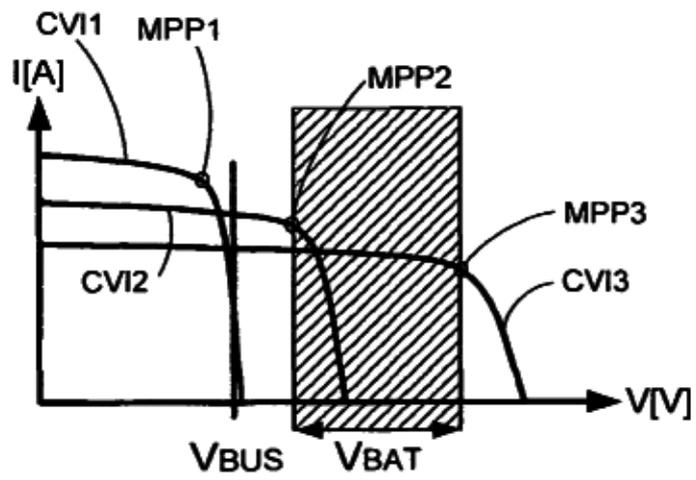


Fig. 12

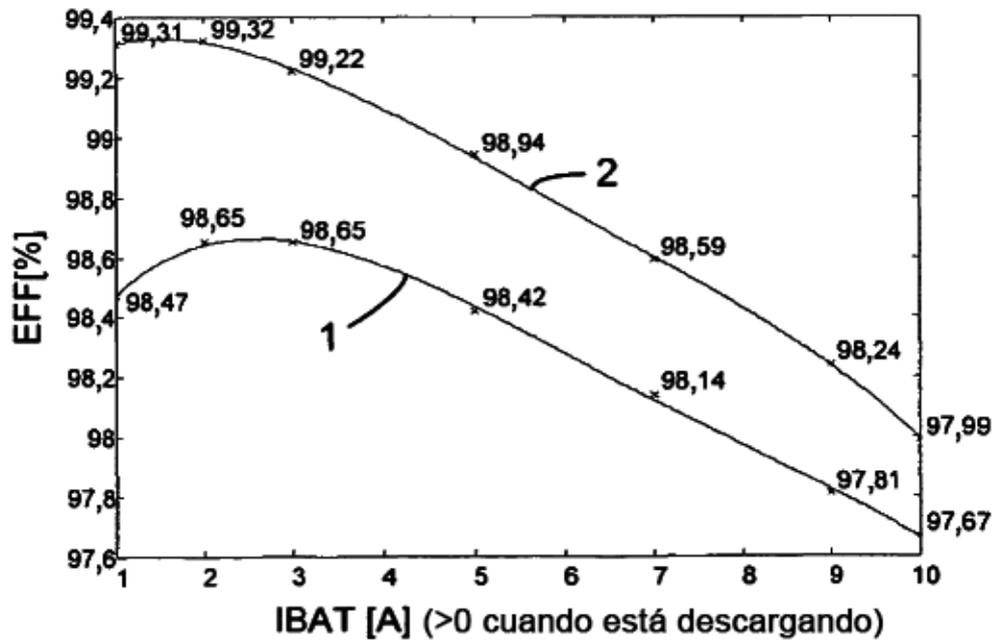


Fig. 13

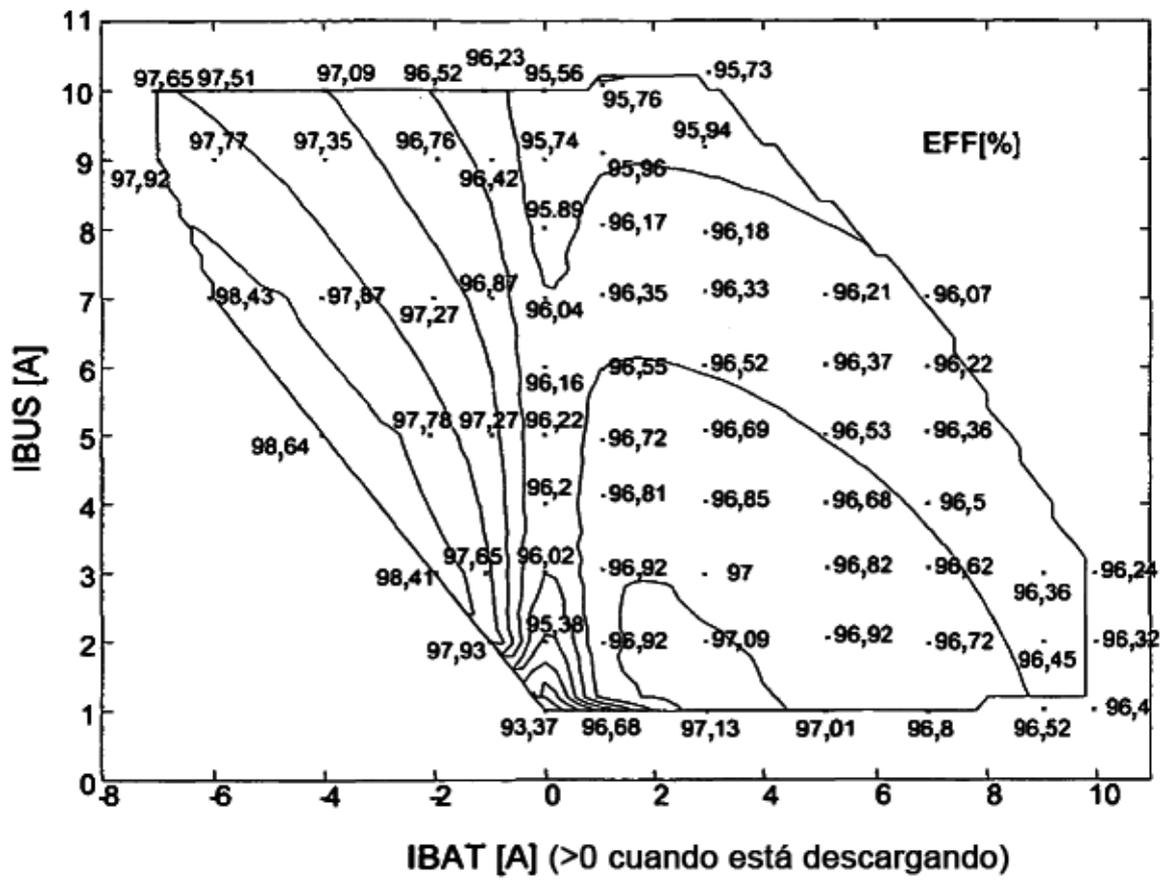


Fig. 14

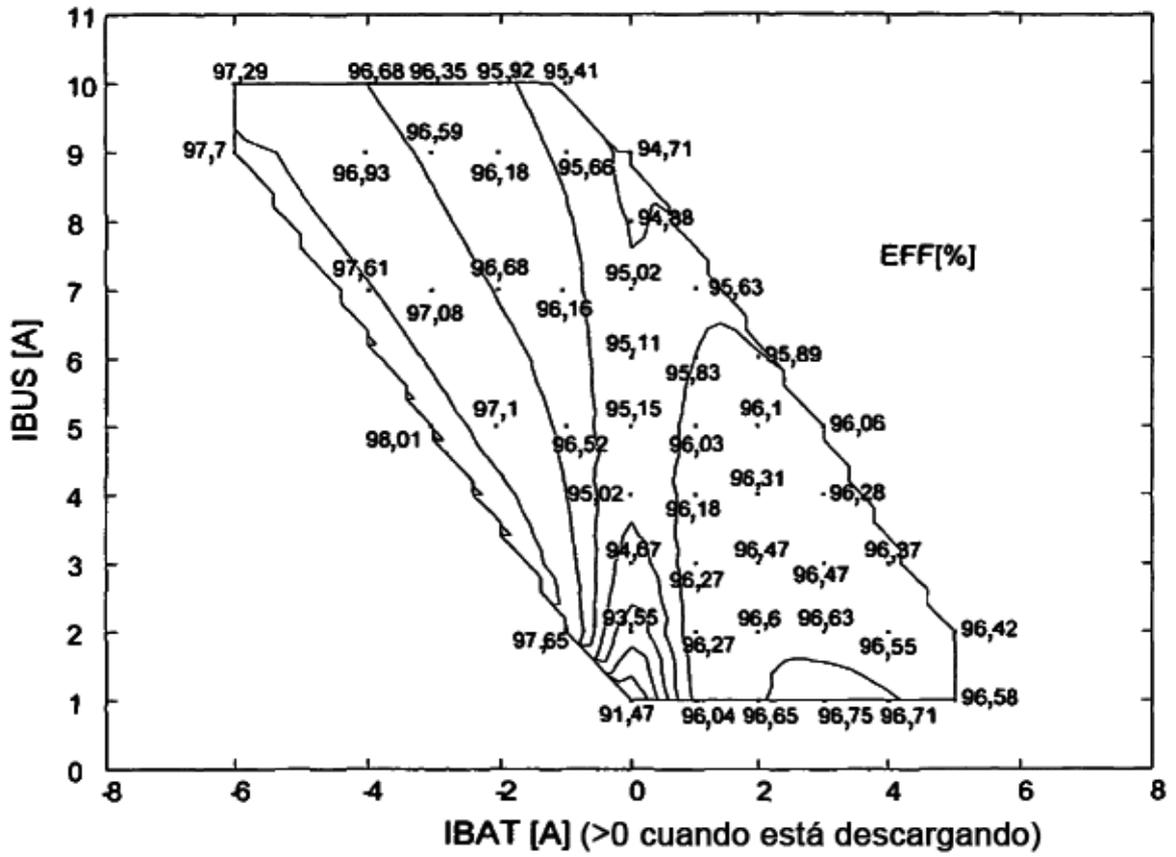


Fig. 15

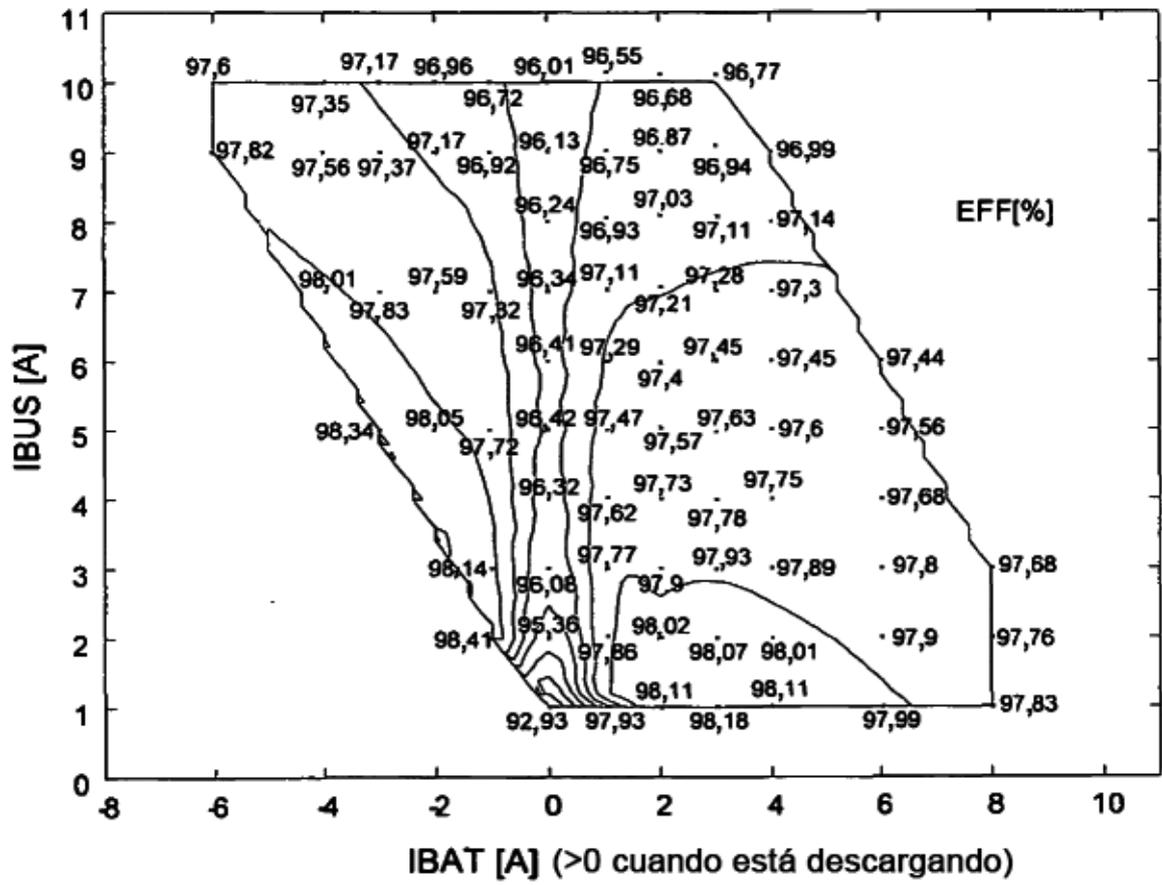


Fig. 16

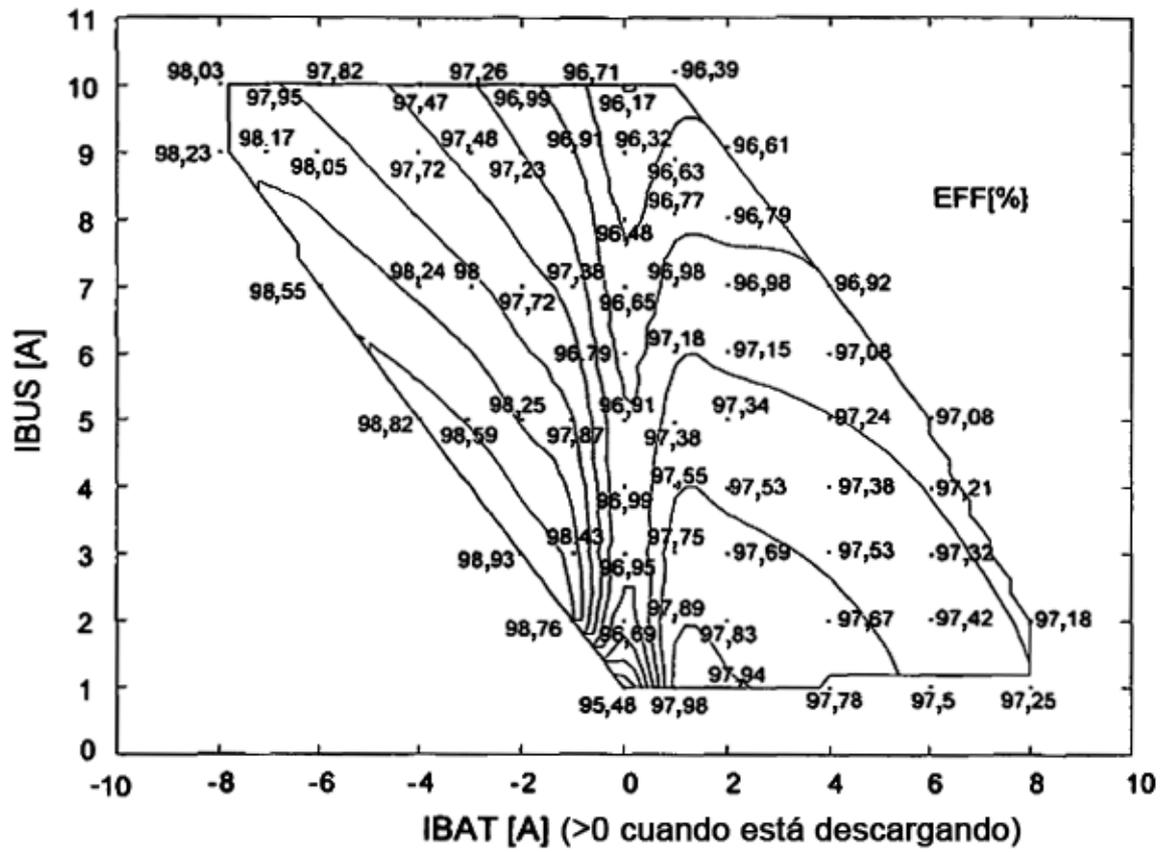


Fig. 17

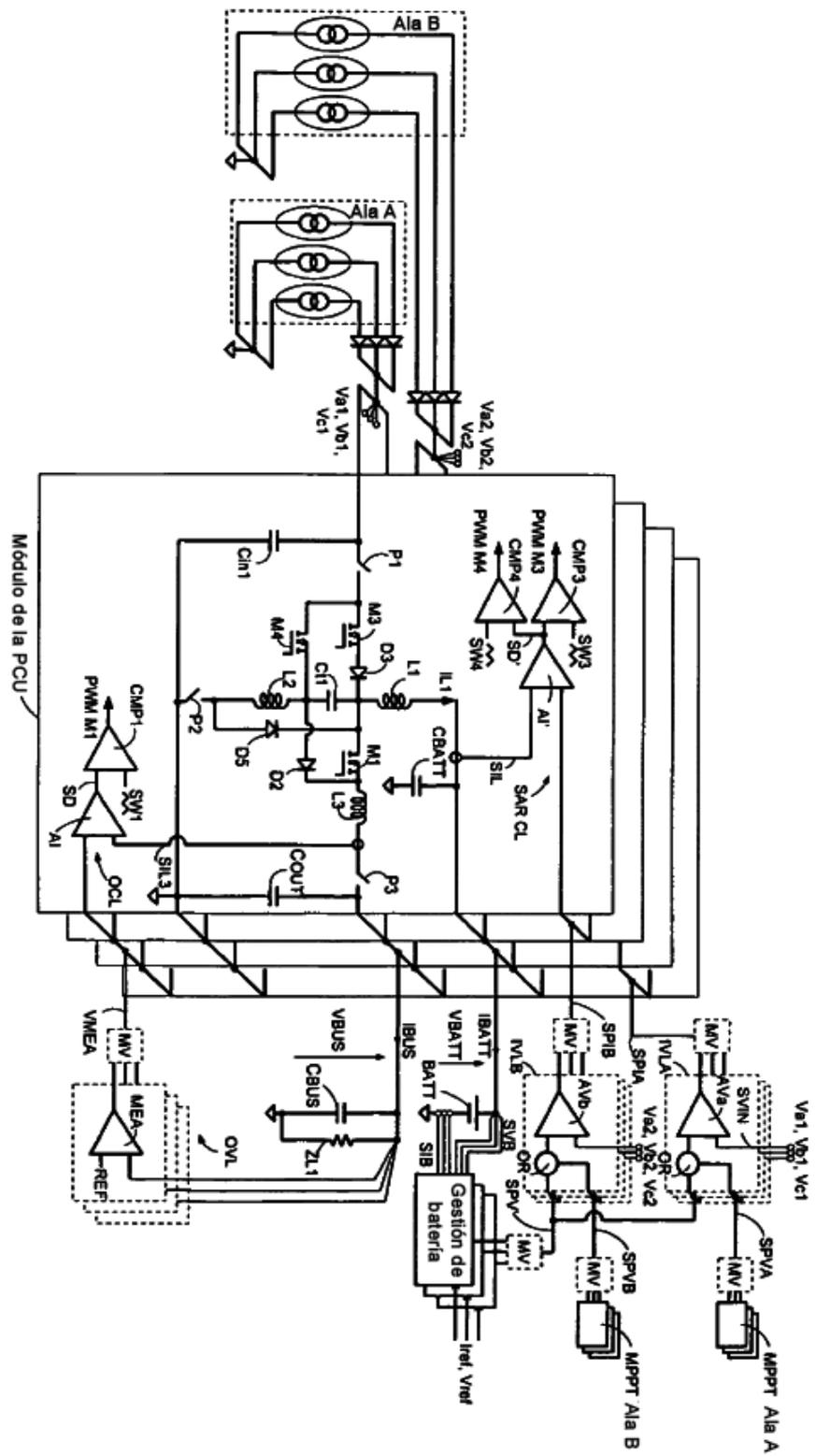


Fig. 18

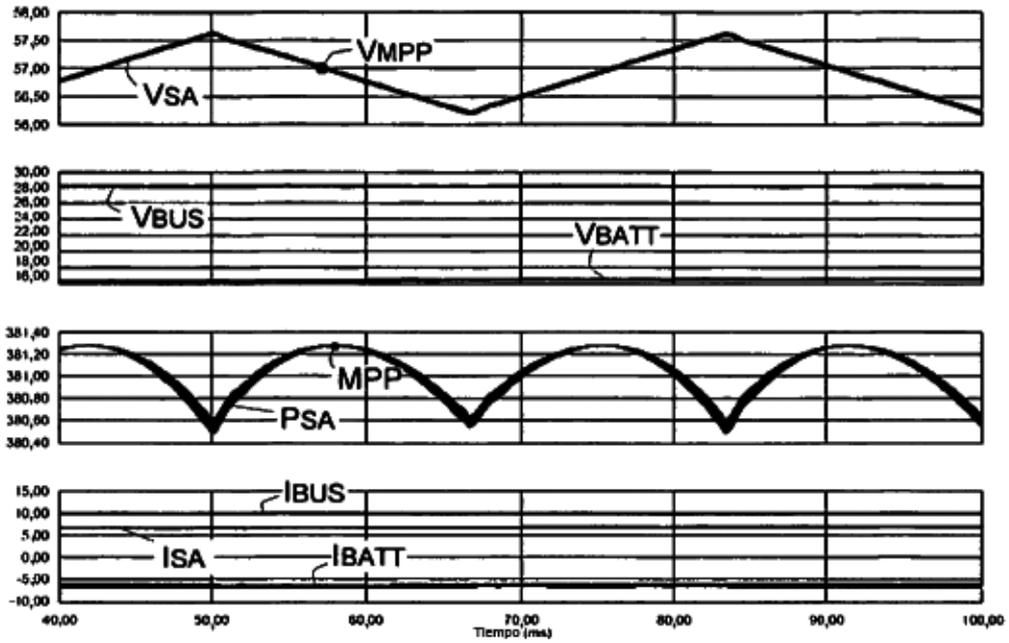


Fig. 19

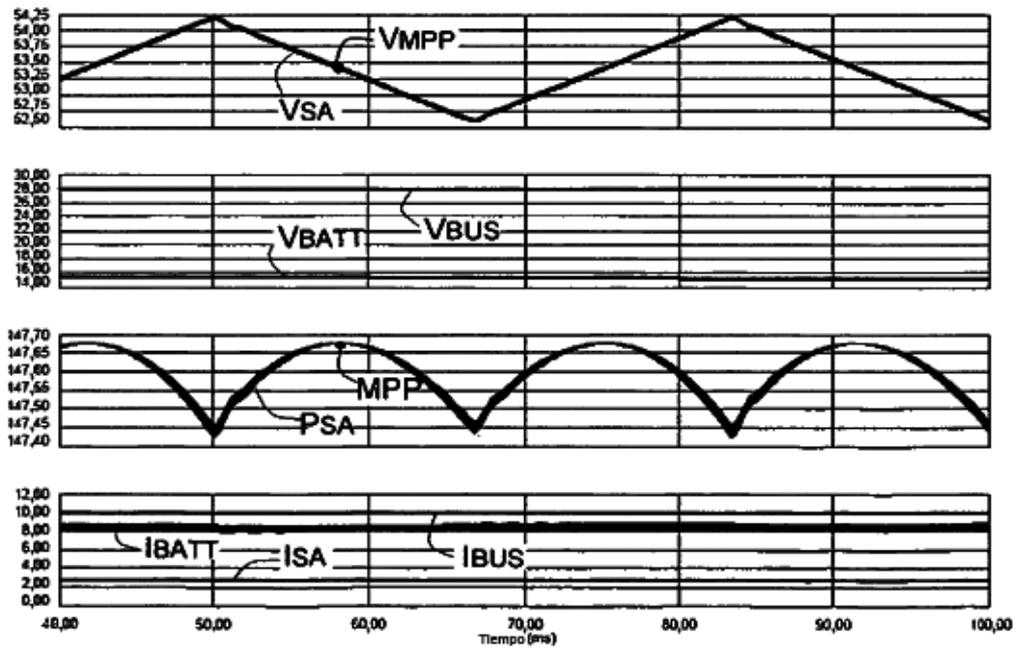


Fig. 20

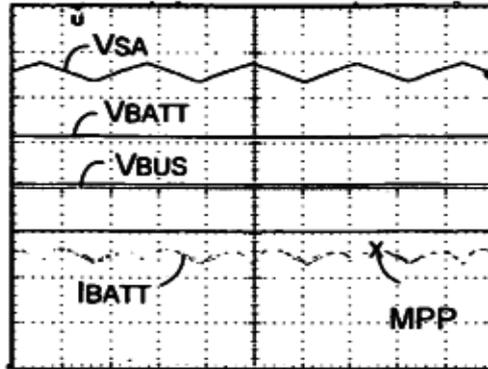


Fig. 21

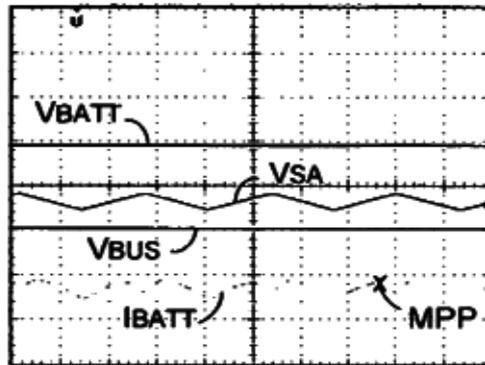


Fig. 22

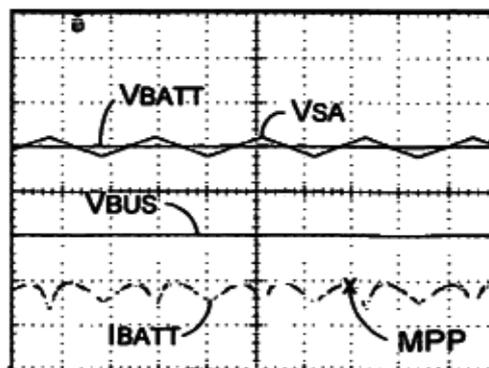


Fig. 23