

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 837 537**

51 Int. Cl.:

H02J 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2017** **PCT/DK2017/000007**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017** **WO17178023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2017** **E 17733350 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020** **EP 3443636**

54 Título: **Método y sistema de equilibrado de celdas**

30 Prioridad:

16.04.2016 DK 201600228

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

30.06.2021

73 Titular/es:

**LITHIUM BALANCE A/S (100.0%)
Hassellunden 13
2765 Smørum, DK**

72 Inventor/es:

**LÓPEZ, ALFREDO QUIJANO;
PADILLA, VINCENTE GAVARA;
PONCE, JOSÉ MANUEL TORRELO;
IIOPIS, CARLOS BLASCO;
TOLMO, JAVIER MONREAL y
VESTIN, KARL RAGNAR**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 837 537 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

Método y sistema de equilibrado de celdas

5 Campo técnico

La presente invención se refiere, en general, a sistemas y métodos para el equilibrado de celdas en sistemas de batería y, más específicamente, a los sistemas y métodos de este tipo que aplican una combinación de equilibrado de celdas activo y pasivo para optimizar el equilibrado de celdas en diferentes condiciones.

10 Antecedentes de la invención

Los sistemas y métodos de equilibrado de celdas son conocidos dentro de la técnica de la gestión de baterías y dichos sistemas y métodos son vitales para optimizar el rendimiento de baterías compuestas por un gran número de celdas como las requeridas en los sistemas de almacenamiento electroquímico de mediana y de gran escala, por ejemplo, diseñados para operar en vehículos eléctricos. Los documentos relacionados con el equilibrado de celdas son: EP2787954 A2, US2008/0090133 A1, US2002/0011820 A1, EP1289096 A2, US2006/022639 A1, EP2075892 A2.

El propósito principal de tales sistemas y métodos es mantener condiciones homogéneas entre todas las celdas de la batería, permitiendo así un funcionamiento óptimo en términos de eficiencia, energía almacenada y vida útil. Para alcanzar la tensión de funcionamiento deseada de un paquete de baterías, las celdas están conectadas en serie. Si las celdas están perfectamente equilibradas, la tensión total se dividirá a partes iguales por cada celda. Sin embargo, en la práctica, las celdas estarán desequilibradas. El proceso de equilibrado de celdas iguala la carga en todas las celdas de la cadena y, por tanto, aumenta la capacidad de la batería. Este proceso es necesario porque la carga máxima está limitada por la tensión de celda más alta y la descarga máxima está limitada por la más baja. Su uso es deseable en casi todas las tecnologías (la única excepción es la tecnología de Flujo-Redox) y es esencial en algunos casos como en las baterías de ion-litio.

Durante un ciclo de carga y descarga, es posible que las baterías de una cadena en serie no funcionen de manera uniforme. Las baterías se caracterizan, entre otras cosas, por su resistencia interna, que puede variar dentro de ciertos límites de tolerancia de un tipo determinado de celdas de batería. Las baterías con celdas más eficientes (es decir, con celdas que tienen una resistencia interna relativamente baja) tienden a tener una tensión más alta, mientras que las baterías con celdas menos eficientes permanecen a una tensión más baja. Una vez que se produce el desequilibrio, este tenderá a aumentar con el uso adicional. De este modo, cuando se cargan las baterías, algunas alcanzan la carga completa mucho antes que otras. De manera similar, las celdas más débiles tenderán a descargarse mucho más rápidamente que el resto del paquete. Esto conlleva una infrutilización de la mayoría de las celdas. En resumen, cuando estas baterías desequilibradas se dejan en uso sin ningún control, como la ecualización de celdas, la capacidad de almacenamiento de energía disminuye drásticamente.

Las cadenas de baterías conectadas en serie se han utilizado para muchas aplicaciones, tal como en vehículos eléctricos, vehículos eléctricos híbridos (HEV), scooters eléctricos y sistemas de alimentación ininterrumpida. De estas, la batería de un HEV está muy expuesta a un entorno de carga y descarga. Esta exposición se produce porque un HEV puede recuperar energía de las ruedas durante el frenado regenerativo (una fuente de energía que se desperdició en el pasado) y reutilizarla para propulsar el vehículo a bajas velocidades o proporcionar potencia adicional para una gran aceleración. Este fenómeno de carga y descarga repetida agrava el problema de desajuste de celdas.

Los desequilibrios entre celdas se pueden definir en términos de tensión o SOC (estado de carga, por sus siglas en inglés de "State of Charge"). Por su naturaleza, tal y como se ha mencionado previamente, si no se toman acciones correctivas, los desequilibrios debidos, por ejemplo, a la resistencia interna de las celdas aumentarán a medida que pasa el tiempo y se realicen ciclos de carga y descarga en la batería, lo que puede dar lugar al caso en el que uno o más elementos alcancen un estado de sobrecarga o de descarga profunda mientras que otros aún tienen un SOC válido. Estas situaciones extremas pueden llevar a un deterioro importante de la batería que junto con otros factores externos pueden provocar un fallo prematuro de todo el sistema. La severidad y rapidez con la que se producen tanto el desequilibrio como el deterioro dependen en gran medida de factores tales como:

- Proceso tecnológico: Algunas tecnologías como el plomo ácido o el NiCd entre otras son capaces de tolerar ciertos niveles de sobrecarga y/o descarga profunda. En algunas de estas tecnologías incluso se utiliza un ligero proceso de sobrecarga para equilibrar periódicamente la batería. Sin embargo, otras tecnologías como la de Iones de Litio, son totalmente intolerantes a las condiciones de sobrecarga o descarga profunda, que pueden dañar la batería, acortar su vida útil e incluso provocar situaciones peligrosas.
- Ciclo de uso de la batería: Dependiendo de la variación global del SOC de las corrientes y temperatura de carga y descarga, el proceso de desequilibrio puede variar considerablemente. Por ejemplo, en tecnologías en las que se fuerza una ligera sobrecarga, el uso de un ciclo de carga incompleto que no proporciona una carga del 100 %

es perjudicial.

En cualquier caso, es necesario establecer un mecanismo para restablecer el equilibrio entre todas las celdas que componen un sistema de baterías. Incluso en el caso de tecnologías que permiten equilibrar por sobrecarga, estas se benefician tanto de la eficiencia como de la prolongación de la vida útil del sistema.

En este sentido, en los sistemas de baterías de cierto tamaño (número de elementos conectados en serie), es deseable (o quizás, incluso necesario) utilizar técnicas de equilibrado. Los beneficios obtenidos mediante el uso de sistemas de ecualización comprenden (i) prolongación de la vida útil del sistema de baterías; (ii) mayor eficiencia del sistema de baterías; (iii) aumento de la energía utilizable del sistema de baterías; y (iv) mayor seguridad de funcionamiento del sistema de baterías.

Por consiguiente, es deseable tener acceso a sistemas y métodos de equilibrado de celdas que proporcionen un equilibrado de celdas óptimo en todas las condiciones prácticas operativas.

Divulgación de la invención

De acuerdo con la presente invención, los objetivos y ventajas anteriores, así como otros adicionales, se obtienen mediante un sistema de equilibrado de celdas y un método de equilibrado de celdas, donde el sistema y el método aplican una combinación de equilibrado de celdas activo y pasivo.

El equilibrado de celdas activo es el método que se aplicará cuando se debe evitar la disipación de energía de la celda en forma de calor. El equilibrado de celdas activo es más eficaz que el equilibrado de celdas pasivo y no aumenta la generación de calor y, por consiguiente, permite aplicar corrientes de equilibrado más altas que el equilibrado pasivo.

Durante el uso normal, las celdas más descargadas de un módulo determinado se equilibran obteniendo energía de su módulo específico.

Cuando un módulo específico está en un estado de carga bajo (SOC), el equilibrado de celdas activo ayuda a aprovechar la energía almacenada en el módulo específico elevando el SOC de las celdas que tienen un SOC por debajo de la media de ese módulo específico hasta el valor medio y permitir así que el módulo completo se descargue hasta el SOC mínimo permitido para casi todas las celdas, en lugar de estar limitado por una única celda cuando alcanza el límite mínimo del SOC.

Durante el proceso de finalización de carga, si hay una o algunas celdas por debajo del valor medio de SOC, también se puede utilizar el equilibrado activo.

El equilibrado pasivo de celdas se puede aplicar, por ejemplo, ventajosamente (al menos) en las siguientes situaciones:

Durante el final de un proceso de carga, se puede usar el equilibrado pasivo para reducir el SOC de una o algunas celdas que estén por encima del valor medio de SOC del módulo y luego finalizar el proceso de carga con todas las celdas a su SOC máximo posible. Si durante el proceso de carga, solo relativamente pocas celdas están insuficientemente cargadas, se puede aplicar un equilibrado activo para aumentar rápidamente su estado de carga. Por el contrario, si relativamente pocas celdas están cargadas por encima de su estado de carga máximo permitido, se puede aplicar ventajosamente un equilibrado pasivo.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, los objetivos y ventajas anteriores, así como otros adicionales se obtienen con un sistema que comprende:

- un bloque de monitorización de celdas configurado para monitorizar la tensión o una cantidad relacionada en todas las celdas individuales ($C_1, C_2, \dots C_N$) en un módulo de celdas de batería;
- un microcontrolador configurado para monitorizar la tensión del terminal positivo y la tensión del terminal negativo del módulo de celdas de batería, y para monitorizar la corriente de salida I_{mod} de dicho módulo, y la tensión de celda monitorizada de las celdas individuales ($C_1, C_2, \dots C_N$), donde el microcontrolador está configurado para proporcionar una señal de control basada al menos en la tensión del terminal positivo, la tensión del terminal negativo, la corriente de salida I_{mod} del módulo y la tensión de celda monitorizada de dichas celdas individuales;
- un bloque de equilibrado de módulos híbrido configurado para proporcionar un equilibrado de celdas ya sea activo o pasivo o una combinación de equilibrado de celdas activo y pasivo de las celdas ($C_1, C_2, \dots C_N$) en el módulo específico bajo el control de las señales de control proporcionadas por el microcontrolador;
- una matriz de conmutación configurada para proporcionar un equilibrado activo o pasivo o una combinación de equilibrado activo y pasivo a una o más de las celdas individuales ($C_1, C_2, \dots C_N$) en el módulo específico bajo el control de la señal de control;
- un medio de equilibrado de celdas pasivo configurado para proporcionar el equilibrado pasivo bajo el control de dicha señal de control;
- un medio de equilibrado de celdas activo configurado para proporcionar el equilibrado activo bajo el control de la

señal de control (20).

En una realización del primer aspecto de la invención, el sistema comprende un medio de equilibrado de módulos pasivo acoplado entre los terminales positivo y negativo del módulo específico.

5 En una realización del primer aspecto de la invención, el medio de equilibrado de celdas activo es un convertidor de retorno CC/CC.

10 En una realización del primer aspecto de la invención, el medio de equilibrado de celdas pasivo es una resistencia en serie con un interruptor, como, por ejemplo, un MOSFET.

En una realización del primer aspecto de la invención, el medio de equilibrado de módulos pasivo es una resistencia en serie con un interruptor, como, por ejemplo, un MOSFET.

15 En una realización del primer aspecto de la invención, el convertidor de retorno CC/CC extrae potencia de todas las celdas ($C_1, C_2, \dots C_N$) de un módulo e inyecta una corriente controlada para equilibrar la celda más descargada hasta que se haya equilibrado con las demás celdas.

20 En una realización del primer aspecto de la invención, la corriente controlada es constante.

En una realización del primer aspecto de la invención, el microcontrolador es un microcontrolador de un sistema de gestión de baterías (BMS) que gestiona el rendimiento global de la batería.

25 En una realización del primer aspecto de la invención, el equilibrado activo se aplica en los módulos que componen una batería, mientras que el equilibrado pasivo se aplica entre los módulos que componen la batería.

30 En una realización del primer aspecto de la invención, el sistema comprende un medio de monitorización del estado de carga de módulos (SOC) o un medio de monitorización de tensión que monitoriza el SOC o la tensión de los módulos de una batería y cuando se detecta un desequilibrio entre el SOC o la tensión entre dos o más módulos, se realiza un equilibrado pasivo entre los dos o más módulos de la batería.

35 En una realización del primer aspecto de la invención, el equilibrado pasivo entre dos o más módulos de una batería está controlado por el bloque de equilibrado de módulos híbrido o el sistema de gestión de baterías (BMS). De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para equilibrar las celdas de batería de una batería que comprende al menos un módulo que comprende una pluralidad de celdas, comprendiendo el método las etapas de: - determinar si está en curso un proceso de carga;

- elegir un módulo (M1);

40 - aplicar un equilibrado de celdas activo entre las celdas de dicho módulo (M1);

- determinar si una o más celdas se han cargado por encima de un límite superior predefinido;

45 - si una o más celdas se han cargado por encima de dicho límite superior, aplicar un equilibrado pasivo de celdas a esta o aquellas celdas para reducir su carga a un valor en o por debajo de dicho límite superior;

- cuando todas las celdas de dentro de dicho módulo (M1) están cargadas, determinar si hay más módulos (M2, M3, ...) en la batería, y si ese es el caso, repetir las etapas anteriores para los módulos restantes (M2, M3...);

50 - cuando se hayan cargado todos los módulos de la batería, determinar si existe un desequilibrio entre el estado de carga o un parámetro similar de los módulos respectivos de la batería, y si ese es el caso, aplicar un equilibrado ya sea pasivo o activo entre los módulos respectivos para reducir dicho desequilibrio entre los módulos a un nivel requerido.

55 Otras características de la invención se apreciarán a partir de la siguiente descripción detallada de la invención y de las figuras.

Breve descripción de los dibujos

60 Otros beneficios y ventajas adicionales de la presente invención resultarán evidentes después de leer la descripción detallada de unos ejemplos de realización no limitantes de la invención junto con los dibujos adjuntos, en donde

la figura 1 muestra una realización de un sistema de equilibrado de celdas de acuerdo con la presente invención; la figura 2 muestra un diagrama de flujo que ilustra las etapas básicas de una realización de un método de acuerdo con la presente invención;

65

las figuras 3a y b muestran un diagrama esquemático de un convertidor de retorno aislado utilizado en unas realizaciones de la presente invención;

la figura 4 muestra un bloque de control de retorno utilizado en unas realizaciones de la presente invención;

las figuras 5a a g muestran un diagrama esquemático de la interfaz con un microcontrolador Hercules utilizado en una realización de la invención;

las figuras 6a a e muestran un diagrama esquemático de un convertidor de retorno aislado de doble interruptor utilizado en una realización de la invención;

las figuras 7a a g muestran un diagrama esquemático de un circuito de selección de relés que comprende un demultiplexor utilizado en una realización de la invención;

la figura 8 muestra un gráfico de los resultados de una simulación para un módulo de 16 celdas; y la figura 9 muestra un gráfico de los resultados de una simulación para un módulo de 8 celdas.

Descripción detallada de la invención

A continuación, se describe en detalle una realización no limitativa de un sistema de equilibrado de celdas de acuerdo con la invención. Sin embargo, se debe entender que la invención puede implementarse en otras realizaciones en las que el alcance de la protección está definido por las reivindicaciones de la patente.

Se hace notar expresamente que, aunque en lo sucesivo se mencionarán valores numéricos específicos para varios parámetros, etc., tales valores numéricos específicos deben considerarse como meros ejemplos y, en consecuencia, no limitan el alcance de la protección de la patente.

Con referencia a la figura 1, se muestra una realización de un sistema de equilibrado de celdas, de acuerdo con la presente invención, generalmente indicado con el número de referencia 1, que comprende un medio para aplicar una combinación de equilibrado de celdas activo y pasivo.

El sistema mostrado en la figura 1 comprende un módulo de batería que en la realización mostrada contiene una conexión en serie de diez celdas C1, C2,... C10. Se sobreentiende que un número diferente de celdas podría estar presente en el módulo y que los principios de la invención se aplicarían igualmente bien a dichos módulos.

Se entiende además que, aunque el término "módulo" se usa repetidamente en la descripción de la realización mostrada en la figura 1, la presente invención no se limita a uno o más módulos físicos que componen una batería en total. Por tanto, una batería podría simplemente comprender un número de celdas acopladas en serie sin ninguna subdivisión en módulos específicos o un módulo puede ser simplemente una subdivisión ficticia de un número dado de celdas de una batería. De este modo, la referencia al término "módulo" no implica ninguna restricción al alcance de la presente invención.

El sistema comprende un bloque de equilibrado de módulos híbrido 3 que comprende una matriz de conmutación 4, un medio de equilibrado pasivo, tal como la resistencia 5 que se puede activar a través de un interruptor controlable 6, como un MOSFET y un dispositivo de equilibrado activo, tal como un convertidor CC/CC 7.

Acoplado a través de todo el módulo además está conectado un medio de equilibrado de módulos pasivo, como la resistencia 8 que se puede activar a través del interruptor 9, tal como un MOSFET.

La matriz de conmutación 4, el medio de equilibrado de celdas pasivo 5 y 6, el convertidor CC/CC 7 y el medio de equilibrado de módulos pasivo 8 y 9 están controlados por unas señales de control apropiadas, como se indica simbólicamente, con las líneas de control 20 a 25.

Las tensiones sobre cada celda respectiva C1 a C10 se miden por medio de un bloque de monitorización de celdas 15 que en la realización mostrada comprende los dos CIAE (circuitos integrados de aplicación específica) 16 y 17 conectados a los terminales de las respectivas celdas a través de líneas de medición de tensión de celda Vceldas.

Con el fin de optimizar el rendimiento del sistema de acuerdo con esta realización de la invención y maximizar la corriente de equilibrado y reducir así el tiempo de equilibrado, el convertidor de retorno se puede controlar desde el microcontrolador principal en el sistema de gestión de baterías (BMS). Un ejemplo de microcontrolador de este tipo es el ARM Cortex R4 de 32 bits HERCULES MCU fabricado por Texas Instruments. El sistema y el método de acuerdo con la presente invención se pueden implementar en el microcontrolador principal del BMS, pero, como alternativa, podría implementarse en un microcontrolador separado. En la realización mostrada, el microcontrolador de control está designado con el número de referencia 18 y está en conexión con los CIAE 16 y 17 en el bloque de monitorización de celdas 15 a través de las interfaces periféricas en serie SPI (por sus siglas en inglés de "serial peripheral interfaces").

El microcontrolador 18 recibe una señal que indica la tensión positiva del módulo Vmod+ a través de la línea de señal 12 y una señal que indica la tensión negativa del módulo Vmod- a través de la línea de señal 13. Además, el microcontrolador 18 recibe una señal que indica la corriente de salida Imod 26 del módulo a través de la línea de señal 11. La corriente de salida 26 se mide con unos medios adecuados, como se indica simbólicamente con la

referencia 25. El microcontrolador 18 proporciona, basándose, entre otras cosas, en estas señales, la señal de control 20 a los diversos bloques funcionales del sistema de equilibrado, es decir, las señales de control 21, 22, 23 y 24.

5 Este convertidor CC/CC conmutado que se utiliza en la realización mostrada de la invención se basa en una topología de "módulo a celda" y permite, sin demasiados costes adicionales, monitorizar la corriente inyectada en cada celda mientras se equilibra, permitiendo así obtener un mejor SOC teniendo en consideración la corriente inyectada durante el proceso de equilibrado.

10 El convertidor CC/CC 7 es un convertidor de retorno aislado que extrae la energía de todas las celdas del módulo (C1 a C10 en la realización que se muestra en la figura 1) e inyecta una corriente constante controlada (CC) para equilibrar la celda más descargada hasta que esté en equilibrio con las otras celdas. La conexión del convertidor de retorno aislado a la celda más descargada se realiza con una serie de relés 4 y solo se puede conmutar uno al mismo tiempo para evitar peligrosos cortocircuitos.

15 El diseño del convertidor CC/CC que se puede utilizar en las realizaciones de la invención se describe con cierto detalle a continuación. Como se ha mencionado anteriormente, el convertidor se puede implementar, por ejemplo, en el microcontrolador HERCULES, si se desea.

20 El control del convertidor necesita una señal analógica para medir la corriente de equilibrado (y cerrar el circuito de retroalimentación para el control), una salida digital PWM y una salida digital por celda (construida con un sistema de demultiplexación externo) para activar los interruptores que conectan el convertidor CC/CC a la celda que requiere un equilibrado.

25 El convertidor CC/CC conmutado, de acuerdo con una realización de la invención, se basa en una topología de "módulo a celda" y permite, sin costes adicionales limitados, monitorizar la corriente inyectada en cada celda mientras se equilibra, lo que permite obtener un estado de carga (SOC) más óptimo teniendo en consideración la corriente inyectada durante el proceso de equilibrado.

30 Con referencia a la figura 2, se muestra un diagrama de flujo que ilustra una realización de un método de equilibrado de celdas de acuerdo con la invención que se puede aplicar, por ejemplo, a una batería que comprende uno o más módulos, comprendiendo, cada uno, varias celdas, como se muestra, por ejemplo, en la figura 1.

35 El método de equilibrado se inicia en la etapa 27 y se elige un módulo de batería dado en la etapa 28. En la etapa 29 se determina mediante el medio apropiado si se está llevando a cabo un proceso de carga y, si ese es el caso, el método pasa a la etapa 30, aplicando así el equilibrado de celdas activo entre las celdas de un módulo dado, es decir, el módulo elegido en la etapa 28.

40 Hacia el final de la carga, puede suceder que una o algunas celdas del módulo dado se carguen por encima de un límite superior predefinido L_s de SOC o tensión de celda. Si esto se detecta en la etapa 31, de acuerdo con una realización de la invención mostrada en la figura 2, que esta o estas celdas se cargan por encima del límite superior predefinido L_s , se aplica un equilibrado de celdas pasivo a estas celdas en la etapa 32 para reducir su carga al valor requerido. Si en la etapa 31 se determina que no hay celdas por encima del límite superior, el proceso pasa a la etapa 33 en la que se determina si hay más módulos que deban cargarse presentes en la batería, tras lo cual se repite el proceso descrito anteriormente para el siguiente módulo.

45 Si no hay más módulos presentes en la batería, se determina en la etapa 34, si hay un desequilibrio entre el SOC de tensión entre módulos. Si ese es el caso, el proceso aplica un equilibrado ya sea pasivo o activo entre los módulos, por ejemplo, (en caso de equilibrado pasivo) por medio de la resistencia 8 que se muestra en la figura 1. Este equilibrado entre módulos continúa hasta que se haya obtenido el equilibrio necesario entre los módulos, tras lo cual el proceso termina en la etapa 38.

50 En el bloque funcional 36, el límite superior L_s puede determinarse y proporcionarse como se indica con la línea 39 en la etapa funcional 31.

55 Con referencia a las figuras 3a y b, se muestra un diagrama de circuito esquemático de una realización de un circuito de un convertidor de retorno aislado (MOSFETS, filtros, transformador de aislamiento, etc.), donde el bloque de Control de retorno y las celdas C1, C2 y C3 están conectados a la salida del convertidor de retorno. Se observa que podrían usarse otros números de celdas distintos a los tres que se muestran en la figura de acuerdo con la invención. Hay otras partes en el esquema que se utilizan para medir corrientes y tensiones a lo largo del circuito. La energía necesaria para corregir el estado de desequilibrio de una celda específica se obtiene de todas las celdas del módulo y luego se inyecta en esa celda específica.

60 La topología del convertidor CC/CC es la de un convertidor de retorno aislado, que actúa como un convertidor reductor con aislamiento. La señal PWM permite controlar la corriente de salida y la tensión del convertidor CC/CC.

65

Un objetivo del sistema y método de la presente invención es recargar la celda desequilibrada con una corriente controlada, por ejemplo, una corriente de 1 A, que se extrae de la matriz completa de celdas que componen un módulo.

- 5 Para diseñar el algoritmo de control que posteriormente se implementará en el microcontrolador HERCULES, el esquema de simulación incluye un filtrado y discretización de la medición de realimentación de la corriente de salida. Esto se asemeja a la forma en que funcionan una etapa analógica y un Convertidor de Analógico a Digital (ADC, por sus siglas en inglés de "Analog to Digital Converter") en un sistema electrónico real. De igual manera, el bloque de control de retorno funciona de la forma en que se espera que funcione en el microcontrolador HERCULES, esto
10 significa que el código de control se ejecuta una vez para cada adquisición de muestra de la señal analógica.

- En los resultados de las simulaciones que se muestran a continuación, la frecuencia de muestreo se ha establecido en 2 kHz y la resolución de los ADC es de 12 bits. La corriente de salida se detectará usando una resistencia de derivación (en este ejemplo, de 50 mOhm) y un amplificador de instrumentación (por ejemplo, INA282) con una ganancia fija de 50x en los resultados que se muestran a continuación. La frecuencia de conmutación PWM se ha
15 establecido en 100 kHz, pero también podrían usarse otras frecuencias de conmutación.

- Con referencia a la figura 4, se muestra un bloque retorno_Control que implementa el algoritmo de control que permite recargar una celda específica desde su estado inicial desequilibrado hasta el estado equilibrado deseado.
20 Los parámetros necesarios para controlar el arranque-parada y la inyección de corriente son:

- corriente de salida deseada: fija en 1 A (Iout)
- realimentación de corriente de salida: IoutCC
- SOC de celda: SOC_1
- 25 - SOC final deseado: Final_SOC

- Hay otros parámetros de control en el bloque retorno_Control relacionados con el proceso de simulación en PSIM (fs) y los parámetros del regulador PI (Kp, Ki) para controlar la corriente de salida. El bloque retorno_Control está programado en una realización en código C para que sea fácilmente transferible al microcontrolador HERCULES,
30 pero se entiende que, como alternativa, se pueden utilizar otros lenguajes de programación.

La parte más importante del algoritmo de control (PI controlador) implementado en el bloque "retorno_Control" se muestra a continuación:

```

... si (SOC <= Final_SOC) //ejecutar el algoritmo hasta alcanzar Final_SOC
{
// no hacer nada hasta 1 ms. Simula estado de inicialización de uController
si (Tdis <= 0,001)
{
    Iout = 0;
    IoutDC_s = 0;
    Tdis = 0;
    Kp = 0;
    Ki = 0;
    err = 0;
    err_kl = 0;
    Int = 0;
    Out = 0;
    PI_out = 0;
    y1 = 0;
    y2 = 0;
    y3 = 0;
    y4 = 0;
}
si no // algoritmo de Retroceso PI control
{
    Iout = x1; // salida de objetivo de corriente
    IoutDC_s = x2; // salida discretizada de realimentación de corriente
// PI Controller
    err = Iout - IoutDC_s; // Cálculo de error
    Int = Int + (err/fs); // Cálculo integral
    Out = Kp*err + Ki*Int; // Resultado PI
    PI_out = Out;
// Saturación para evitar un ciclo de trabajo PWM excesivo o inferior a 0
    si (PI_out >= 0,44)
    {
        PI_out = 0,44;
        sat = 1;
    }
    si no si (PI_out <= 0)
    {
        PI_out = 0;
        sat = 2;
    }
    si no sat=0;
    y1 = PI_out;
    y2 = err;
    y3 = sat;
    y4 = 1;
} // finalizar si
} // finalizar si SOC
si no
{
    y1 = 0;
    y4 = 0;
}

```

El μ C Hercules genera la señal PWM, las señales de selección de conmutación (relé), la o las posibles señales de activación de equilibrado pasivo? para el módulo completo y recibe la realimentación de la señal de corriente de salida de equilibrado para cerrar el bucle de control.

La señal PWM controlará? el convertidor CC/CC de retorno aislado para generar la cantidad (magnitud) deseada de corriente para recargar la celda seleccionada.

- 10 Con referencia a las figuras 5a a g, se muestra la interfaz con la placa de evaluación μ C Hercules y también la fuente de alimentación necesaria para generar los diferentes niveles de suministro, incluyendo la tensión aislada (tal como de 5 V) necesaria para la corriente de salida y los amplificadores operacionales de medición de tensión de celda. El esquema de la figura 2 también muestra los componentes de interfaz necesarios para gestionar los diferentes niveles de tensión en todas las señales presentes en esta realización de la invención. Las señales
- 15 analógicas y digitales se pueden enrutar a diferentes pines en el μ C para permitir la compatibilidad con diferentes combinaciones y configuraciones.

En esta realización de la invención, la conexión con la TI BQ76PL536EVM se realiza con un bus SPI y algunas señales digitales y está presente en los conectores J1 y J2.

Con referencia a las figuras 6a a e, se muestra el Convertidor de retorno aislado de Doble Interruptor. Para gestionar la señal PWM de ambos MOSFET, el IC U114 (UCC27201) actúa como un Controlador de Puerta Alta y Baja, recibiendo la señal PWM del μ C.

- 5 El sensor de corriente utilizado para enviar la señal de corriente al microcontrolador es en esta realización una combinación de una resistencia de derivación de 25 mOhmios y dos amplificadores analógicos. El primero de la cadena es el AMC1200-Q1. Se trata de un amplificador de aislamiento equilibrado con una ganancia fija de 8x y es alimentado con 5 V por el convertidor CC/CC aislado TMV-1205SHI. La salida equilibrada de este amplificador de aislamiento es amplificada de nuevo por el INA332 (11x para la medición de corriente y 5x para la medición de tensión). Ambas señales se envían a las entradas ADC del μ C HERCULES en los puertos leq_Out y Veq_Out. La tensión del Módulo también es medida por la red del divisor de resistencia y se le da al μ C en el puerto Vmod.

- 15 En esta, y posiblemente también en otras realizaciones de la invención, se utiliza un transformador de aislamiento Wurth WE750312503 para el convertidor de retorno que funciona con una tensión de entrada de entre 36 V y 72 V. La topología seleccionada es la del convertidor de retorno de doble interruptor y la referencia del MOSFET es STN2NF10. El diodo de salida D19 (PMEG3030EP) ha sido seleccionado por su baja V_f para reducir las pérdidas de conducción.

- 20 Con referencia a las figuras 7a a g, se muestra una realización de un circuito de selección de Relés provisto de un demultiplexor para evitar tener 2 relés conectados al mismo tiempo a diferentes partes de la celda lo que podría producir un cortocircuito entre dos o más celdas. La selección del relé que conecta una única celda a la salida del convertidor de retorno se realiza con un circuito lógico basado en demultiplexores SN74HC238D. De esta forma se asegura que solo se activa un único relé al mismo tiempo, evitando peligrosos cortocircuitos entre celdas. Por último, el relé es impulsado por una matriz Darlington ULQ2003A que gestiona la activación de la bobina del relé.

- 25 Los dos últimos relés (RLY17 y RLY18) se utilizan en esta realización para conectar una resistencia en serie con una única celda o con el módulo completo para permitir el equilibrio pasivo y así obtener el prototipo de Equilibrado Híbrido. El relé seleccionado para esta aplicación es el IMR6

30 Diseño de software

El μ C HERCULES se ha configurado y programado para controlar el convertidor de retorno, utilizando los siguientes periféricos:

- 35 - pines de entrada/salida de propósito general (GPIO) para gestionar los circuitos lógicos que controlan los relés.
- módulo Convertidor Analógico a Digital (ADC) para medir la corriente de salida.
- 40 - módulo Temporizador de Extremo Superior (HET, por sus siglas en inglés de "High-End Timer") para generar interrupciones internas para el algoritmo de control.
- módulo Modulador de Ancho de Pulso Mejorado (ePWM, por sus siglas en inglés de "Enhanced Pulse Width Modulator") para generar la señal PWM.

- 45 Los periféricos μ C se configuran de la siguiente manera:

GIO: - PUERTO A (A5, C2, C1, E1, A6, B5, H3, M1)
 ADC: - PUENTE J8 PARA SELECCIONAR ADREFHI
 3,3 V
 - PIN -> ADC1IN2 (V18) -
 DISPARADOR -> HET1 8 -
 RESOLUCIÓN -> 12BIT-
 TIEMPO DE MUESTRA ->
 1 μ s

HET: - PIN -> HET1 8 (E18)

PWM1
 - PERIODO -> 500 μ s

- PERIODO -> 100 kHz -
 ETPWM: PIN -> ETPWM6B (P2)

Con el módulo ePWM, el μ C HERCULES genera una señal PWM capaz de controlar el convertidor de retorno. Con el Módulo HET se genera una señal para activar la conversión del ADC a una frecuencia adecuada, tal como 2 kHz,

que captura el valor medido del sensor de corriente. El μ C recibe la señal analógica del sensor de corriente para cerrar el bucle de control, actuando como un controlador PI. Utilizando el GPIO del Puerto A, el μ C selecciona la celda a recargar. Si fuera deseable, el μ C también permite el equilibrado pasivo para una celda o para el módulo completo.

5 Las pruebas se han llevado a cabo con el convertidor de retorno de Doble Interruptor cargando una Celda a una corriente fija y controlada de 1 A. El núcleo del circuito de equilibrado activo es el convertidor de retorno aislado. El convertidor de retorno está controlado por el μ C HERCULES con una señal PWM (patilla ETPWM 6B) y el bucle de control está alimentado por la señal analógica que corresponde a la corriente de salida (pin AD1IN2).

10 El μ C HERCULES puede seleccionar la celda que necesita ser recargada gracias a los circuitos lógicos conectados al puerto GIOA. Las líneas GIOA0 a GIOA3 se usan para seleccionar la celda de 1 a 16, la GIOA5 se usa para habilitar la salida del búfer de 3,3 V a 5 V y la GIOA4 se usa para habilitar la salida de los demultiplexores. Ambas señales de habilitación son señales bajas activas.

15 Una vez que se selecciona la celda, el μ C comienza a controlar la señal PWM del convertidor de retorno para recargar la celda seleccionada a una tasa de 1 A. El modelo de celda utilizado en estas pruebas es el Kokam SLPB90255255H.

20 Las mediciones realizadas durante las pruebas de equilibrado muestran que los circuitos y el código de control diseñados pueden controlar la cantidad de corriente inyectada en la celda seleccionada.

La precisión del valor de la corriente de salida es de $\pm 1,5 \%$.

25 La eficiencia de la conversión de potencia en el convertidor de retorno es superior al 82,5 % en la mayoría de las condiciones de entrada/salida, llegando a picos de eficiencia de aproximadamente un 87,5 % cuando la tensión de entrada es de aproximadamente 55 V.

30 También se ha probado el equilibrado pasivo conectando una resistencia de 4 Ω (5 W) para descargar una única celda a una tasa de aproximadamente 1 A, y una resistencia de 68 Ω (100 W) para descargar el módulo completo de 16 celdas a una tasa de aproximadamente 1 A. Se entiende que se pueden utilizar diferentes valores de resistencia y que el equilibrado pasivo se puede realizar con otros medios que no sean resistencias.

Resultados de la simulación.

35 A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones de PSIM para módulos de 16 y 8 celdas.

40 Con referencia a la figura 8 se muestran los resultados obtenidos para una simulación de un proceso de equilibrado de 1 celda que necesita pasar de un 90 % del SOC a un 95 % del SOC. La tensión de entrada para el convertidor de retorno es de 64,45 V, equivalente a 16 celdas donde 15 celdas se cargan al 95 % del SOC y 1 celda se carga al 90 %. Esta última celda es la que se equilibrará.

45 La corriente "IoutCC" aumenta hasta que alcanza 1 A y luego permanece estable hasta que el SOC alcanza una carga del 95 %, luego se detiene.

También se muestran el SOC (SOC_1) y la tensión de la celda (VoutCC) en función del tiempo.

50 Por último, el gráfico inferior de la figura 8 muestra la eficiencia de conversión de potencia en la simulación teniendo en consideración las pérdidas de conducción, durante el tiempo en el que el convertidor de retorno está ENCENDIDO. El valor de eficiencia en esta simulación es del 89 %.

55 Con referencia a la figura 9 se muestran los resultados obtenidos para una simulación de un proceso de equilibrado de 1 celda que necesita cargarse de un 90 % del SOC a un 95 % del SOC. La tensión de entrada para el convertidor de retorno es de 32,18 V, equivalente a 8 celdas donde 7 celdas se cargan al 95 % del SOC y 1 celda se carga al 90 %. Esta última celda es la que se equilibrará. El resto de las señales son las mismas que para los resultados mostrados en la figura 8.

60 En resumen, en los gráficos mostrados en las figuras 8 y 9 se puede ver que la fuente de alimentación de retorno controlada, de acuerdo con una realización de la invención, es capaz de recargar la celda específica a una corriente constante de 1 A hasta que su SOC alcanza el valor deseado.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de equilibrado de celdas de batería que comprende:

- 5 - un bloque de monitorización de celdas (16) configurado para monitorizar la tensión o una cantidad relacionada en todas las celdas individuales ($C_1, C_2, \dots C_N$) en un módulo de celdas de batería;
- un microcontrolador (18) configurado para monitorizar la tensión del terminal positivo (12) y la tensión del terminal negativo (13) de dicho módulo de celdas de batería, y para monitorizar (11) la corriente de salida I_{mod} de dicho módulo, y la tensión de celda monitorizada de dichas celdas individuales ($C_1, C_2, \dots C_N$), donde el
- 10 microcontrolador (18) está configurado para proporcionar señales de control (20, 21, 22, 23, 24, 25) basadas al menos en dicha tensión del terminal positivo (12), dicha tensión del terminal negativo (13), dicha corriente de salida I_{mod} de dicho módulo, y dicha tensión de celda monitorizada de dichas celdas individuales;
- un bloque de equilibrado de módulos híbrido (3) que comprende una matriz de conmutación (4), un medio de equilibrado pasivo (5) y un dispositivo de equilibrado activo (7), donde la matriz de conmutación (4), el medio de
- 15 equilibrado pasivo (5) y el dispositivo de equilibrado activo (7) están controlados por dichas señales de control (20, 21, 22, 23, 24, 25) proporcionadas por el microcontrolador (18), de modo que el bloque de equilibrado de módulos híbrido (3) puede proporcionar cualquiera de los modos de equilibrado de celdas que comprenden un equilibrado de celdas activo, un equilibrado de celdas pasivo, o una combinación de equilibrado de celdas activo y pasivo de las celdas ($C_1, C_2, \dots C_N$) en el módulo específico bajo el control de las señales de control (20, 21, 22,
- 20 23, 24, 25) proporcionadas por el microcontrolador (18).

2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende un medio de equilibrado de módulo pasivo (8, 9) acoplado entre los terminales positivo y negativo (12, 13) de dicho módulo específico.

25 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho medio de equilibrado de celdas activo (7) es un convertidor de retorno CC/CC.

4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho medio de equilibrado de celdas pasivo (5, 6) es una resistencia (5) en serie con un interruptor (6), como, por ejemplo, un MOSFET.

30 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho medio de equilibrado de módulo pasivo (8, 9) es una resistencia (8) en serie con un interruptor (9), como, por ejemplo, un MOSFET.

35 6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el convertidor de retorno CC/CC extrae potencia de todas las celdas ($C_1, C_2, \dots C_N$) de un módulo e inyecta una corriente controlada para equilibrar la celda más descargada hasta que se haya equilibrado con las demás celdas.

7. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde dicha corriente controlada es constante.

40 8. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho microcontrolador es un microcontrolador de un sistema de gestión de baterías (BMS) que gestiona el rendimiento global de la batería.

45 9. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el equilibrado activo se aplica en los módulos que componen una batería, mientras que el equilibrado pasivo se aplica entre dos o más módulos que componen la batería.

50 10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el sistema comprende un medio de monitorización del estado de carga de los módulos (SOC) o un medio de monitorización de tensión que monitoriza el SOC o la tensión de los módulos de una batería y cuando se detecta un desequilibrio entre el SOC o la tensión entre dos o más módulos, se realiza un equilibrado pasivo entre los dos o más módulos de la batería.

55 11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en donde el equilibrado pasivo entre dos o más módulos de una batería está controlado por dicho bloque de equilibrado de módulos híbrido (3) o dicho sistema de gestión de baterías (BMS).

12. Un método para equilibrar celdas de batería en una batería que comprende al menos un módulo que comprende una pluralidad de celdas, comprendiendo el método las etapas de:

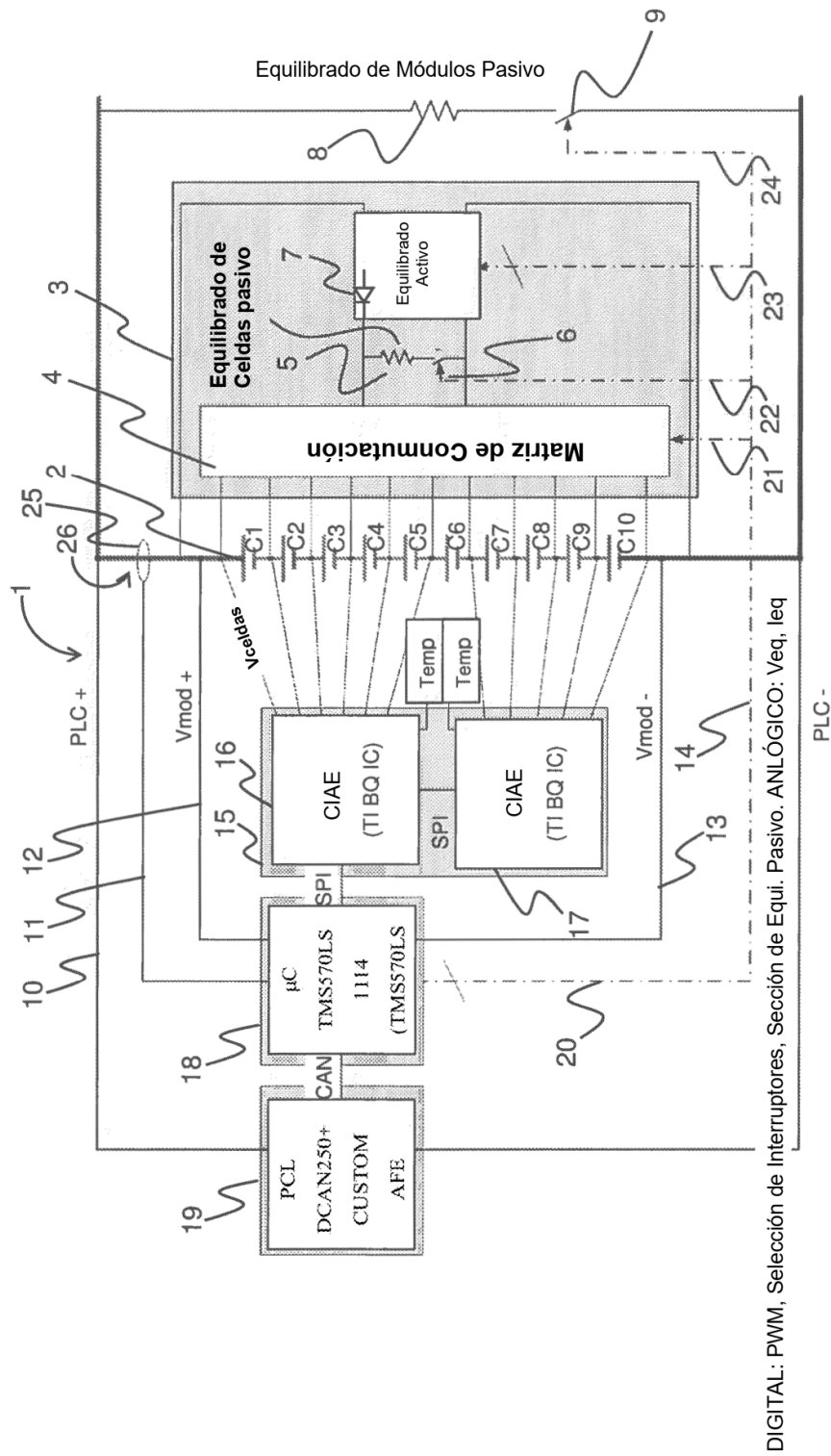
- determinar si está en curso un proceso de carga;
- 60 - elegir un módulo (M1);
- aplicar un equilibrado de celdas activo entre las celdas de dicho módulo (M1);
- determinar si una o más celdas se han cargado por encima de un límite superior predefinido;
- si una o más celdas se han cargado por encima de dicho límite superior, aplicar un equilibrado pasivo de celdas a esta o aquellas celdas para reducir su carga a un valor en o por debajo de dicho límite superior;
- 65 - cuando todas las celdas de dentro de dicho módulo (M1) están cargadas, determinar si hay más módulos (M2, M3, ...) en la batería, y si ese es el caso, repetir las etapas anteriores para los módulos restantes (M2, M3...);

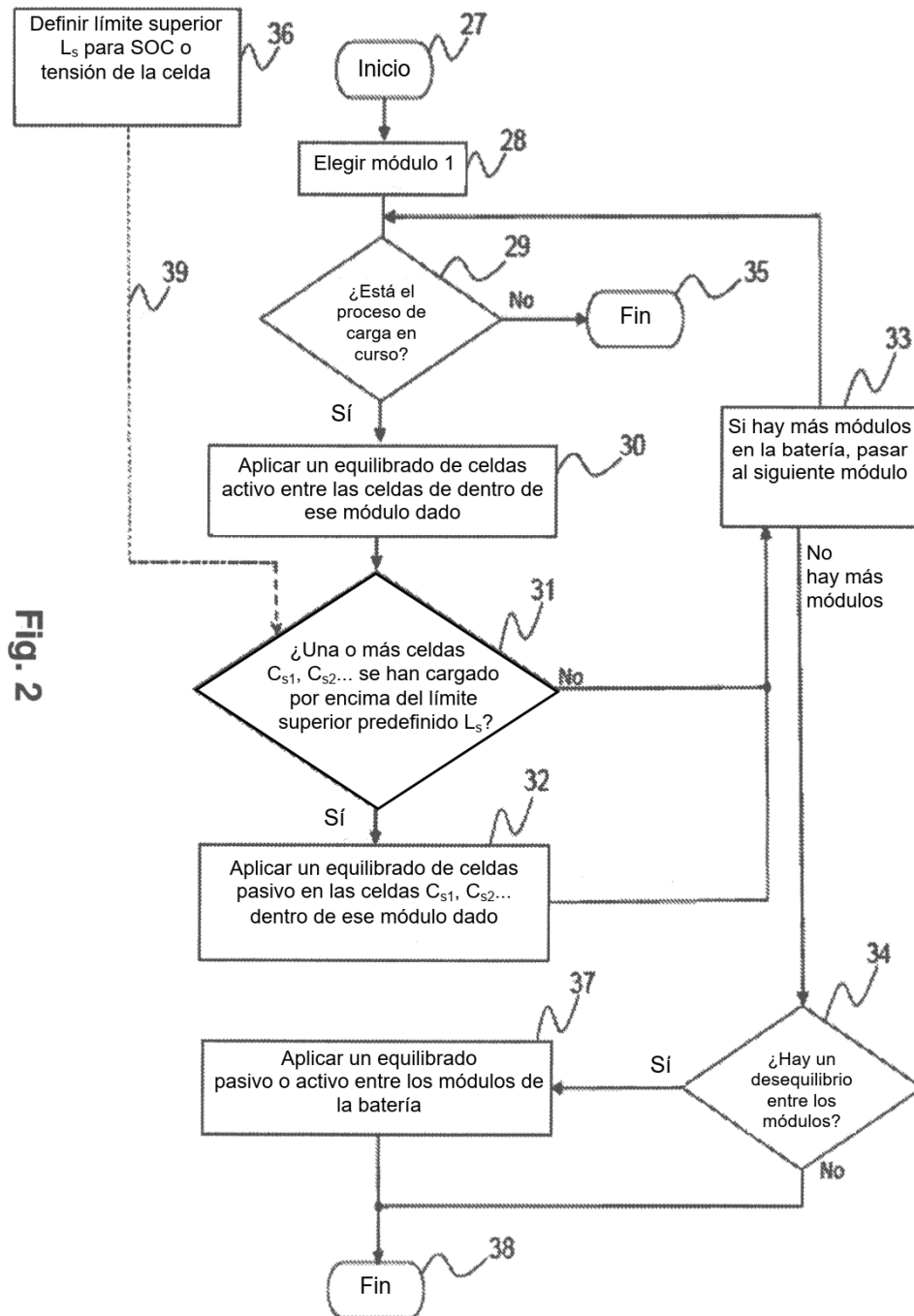
- cuando se hayan cargado todos los módulos de la batería, determinar si existe un desequilibrio entre el estado de carga o un parámetro similar de los módulos respectivos de la batería, y si ese es el caso, aplicar un equilibrado ya sea pasivo o activo entre los respectivos módulos para reducir dicho desequilibrio entre los módulos a un nivel requerido;

5 donde el método se lleva a cabo mediante un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 2 a 11.

10 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el equilibrado activo se aplica en módulos que componen una batería, mientras que el equilibrado pasivo se aplica entre los módulos que componen la batería.

15 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en donde el estado de carga (SOC) o tensión se monitorizan mediante un medio de monitorización que monitoriza el SOC o la tensión de dos o más módulos de una batería y cuando se detecta un desequilibrio entre el SOC o la tensión entre dos o más módulos, se realiza un equilibrado pasivo entre los dos o más módulos de la batería.





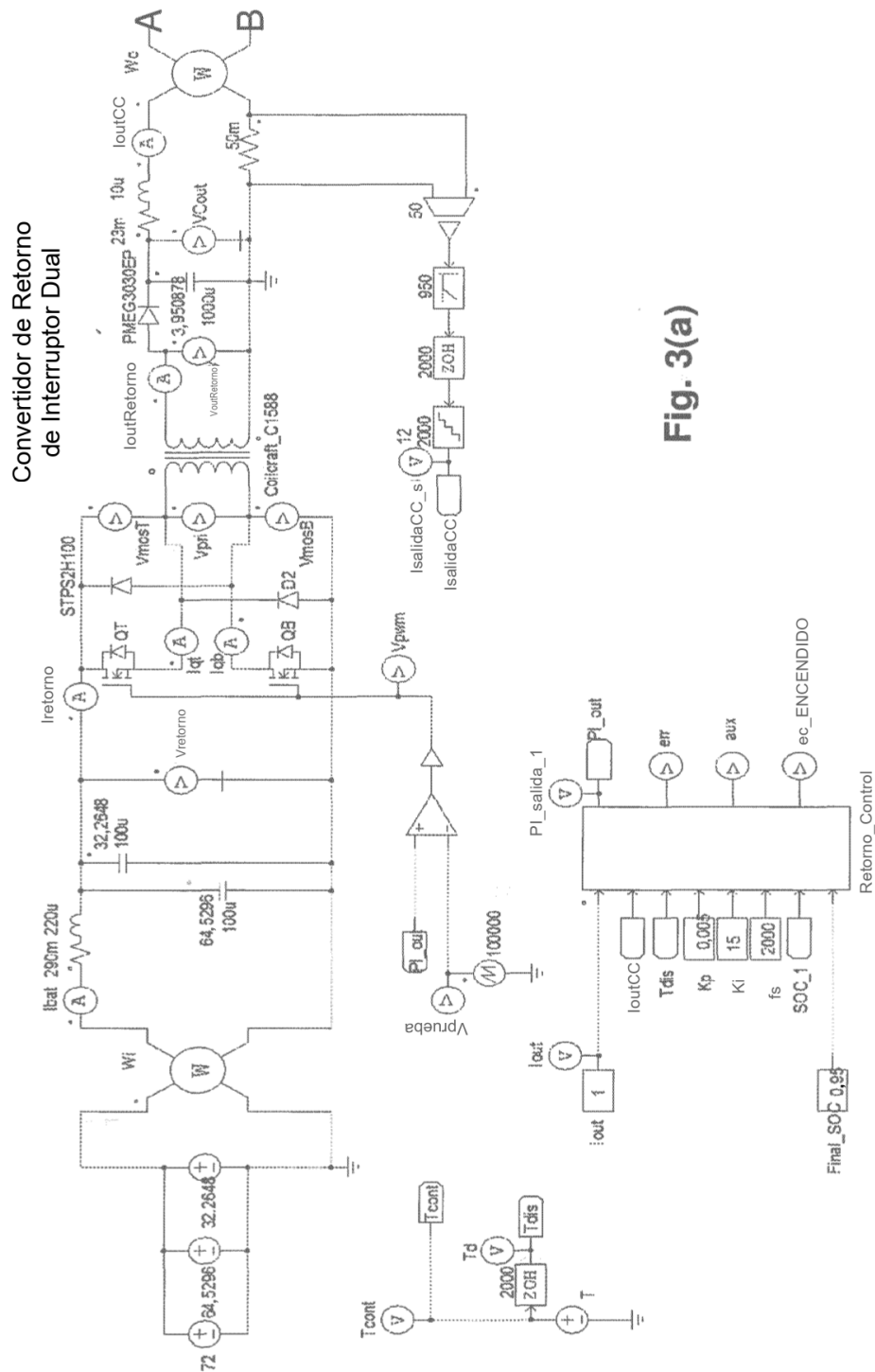


Fig. 3(a)

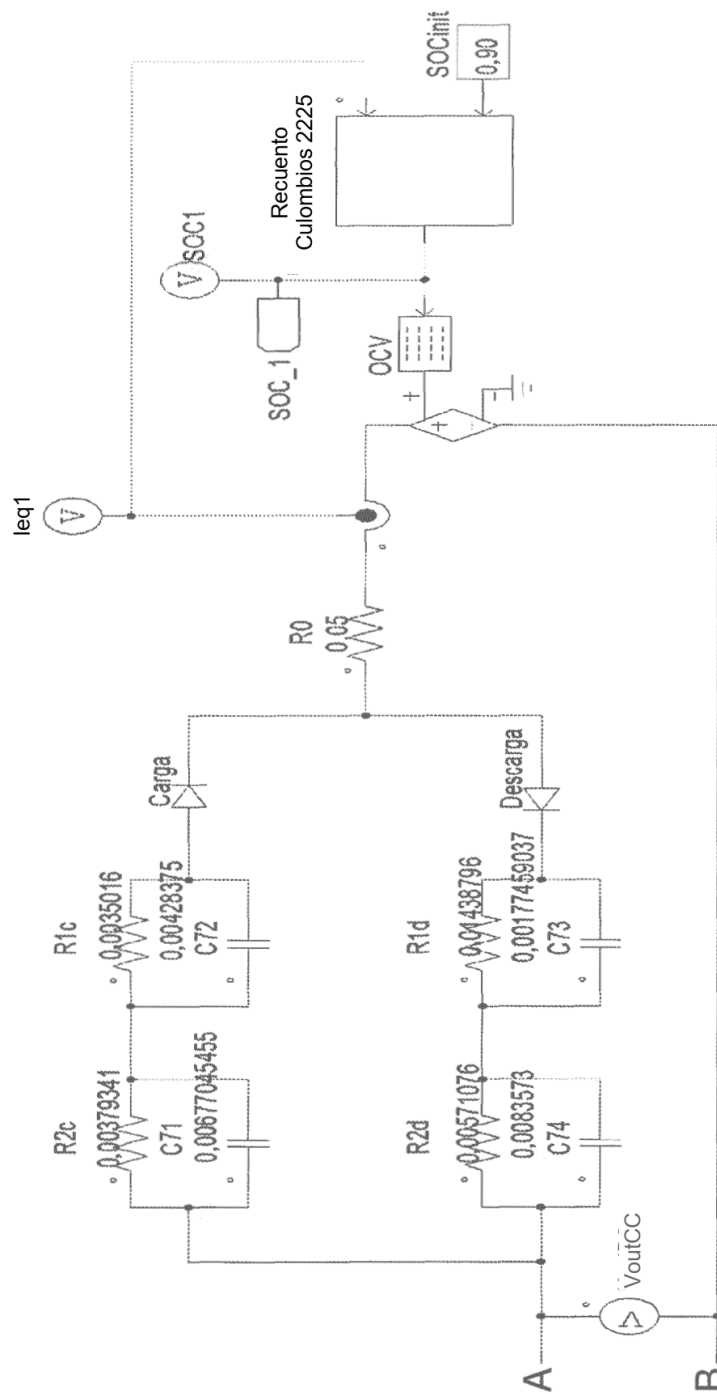


Fig. 3(b)

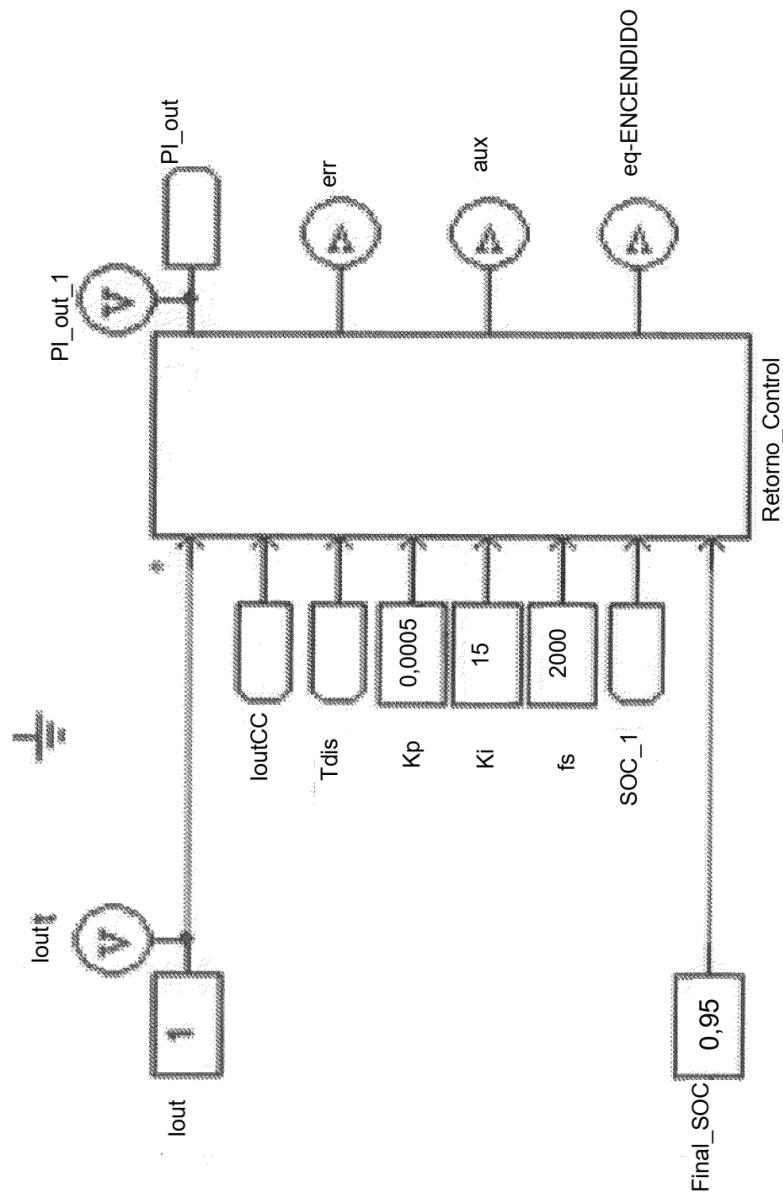
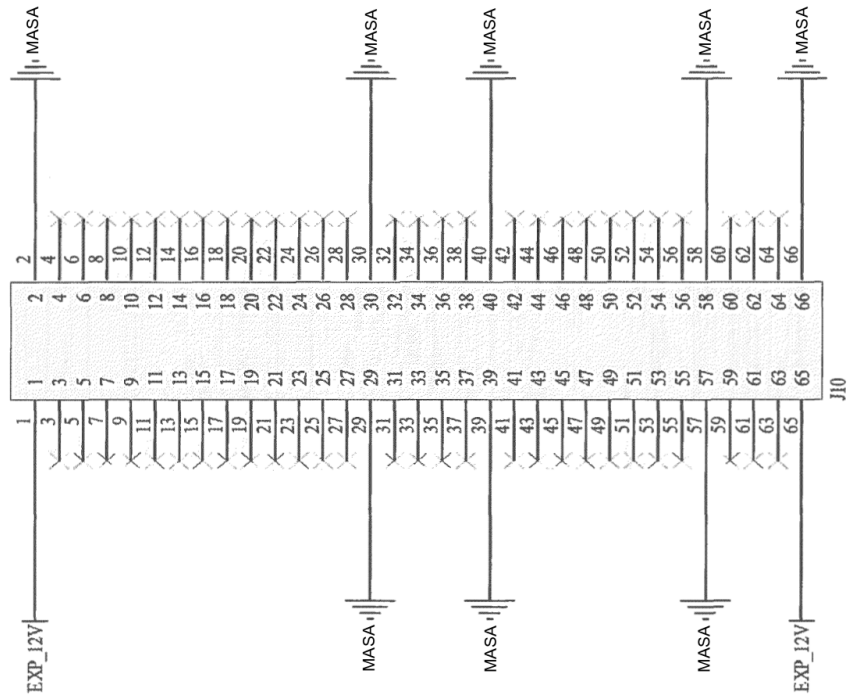


Fig. 4

Fig. 5(a)



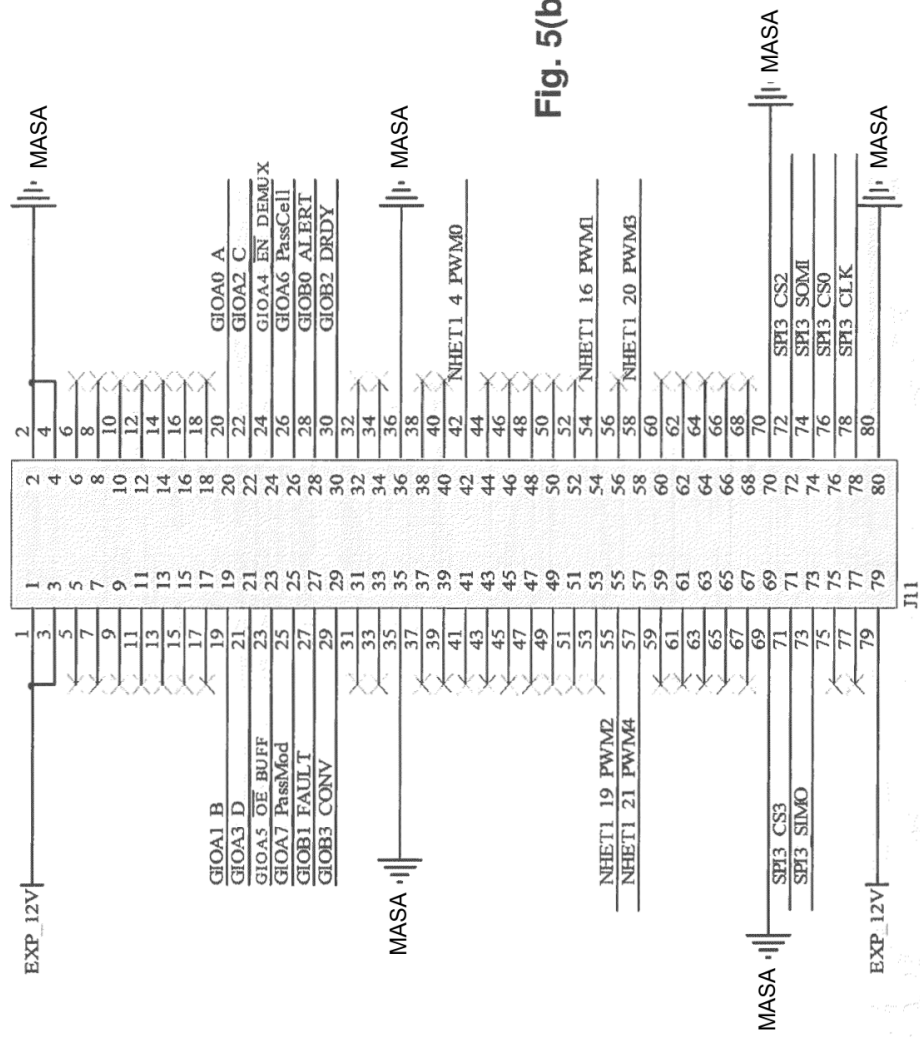
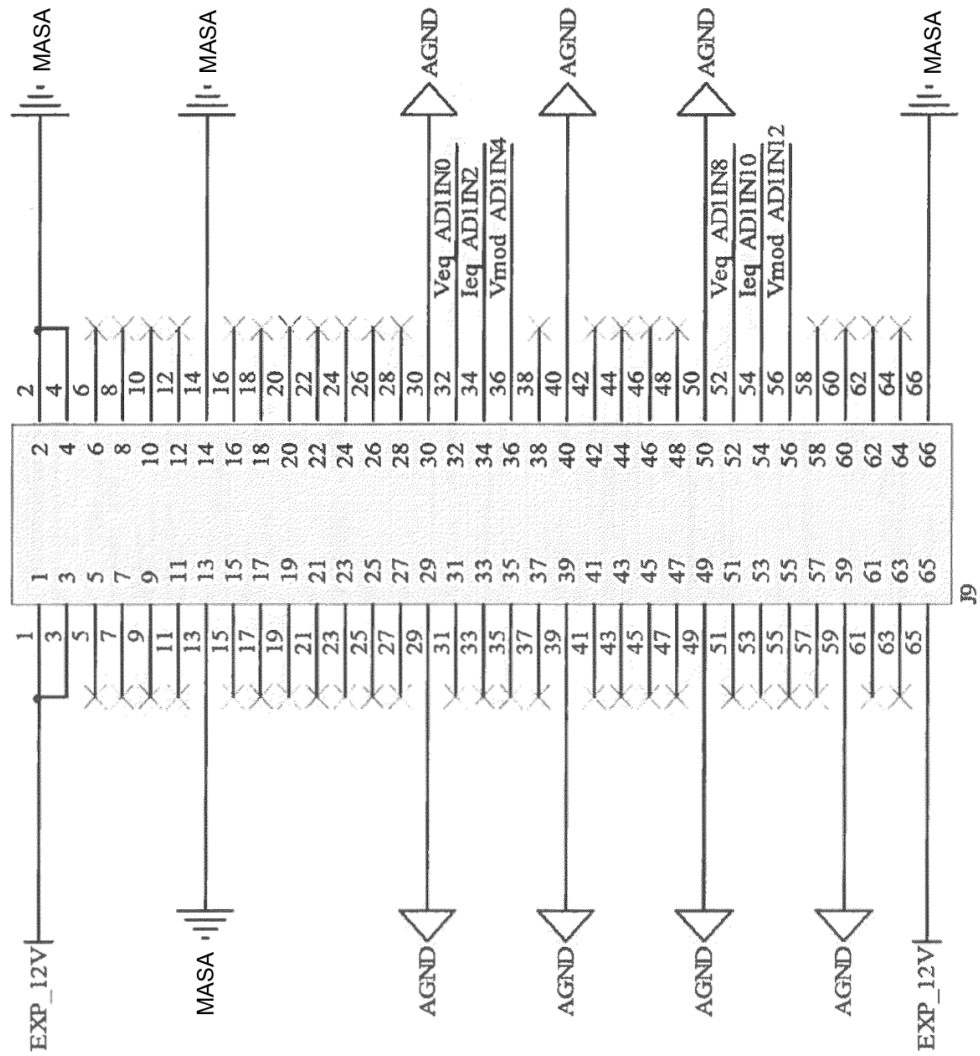


Fig. 5(c)



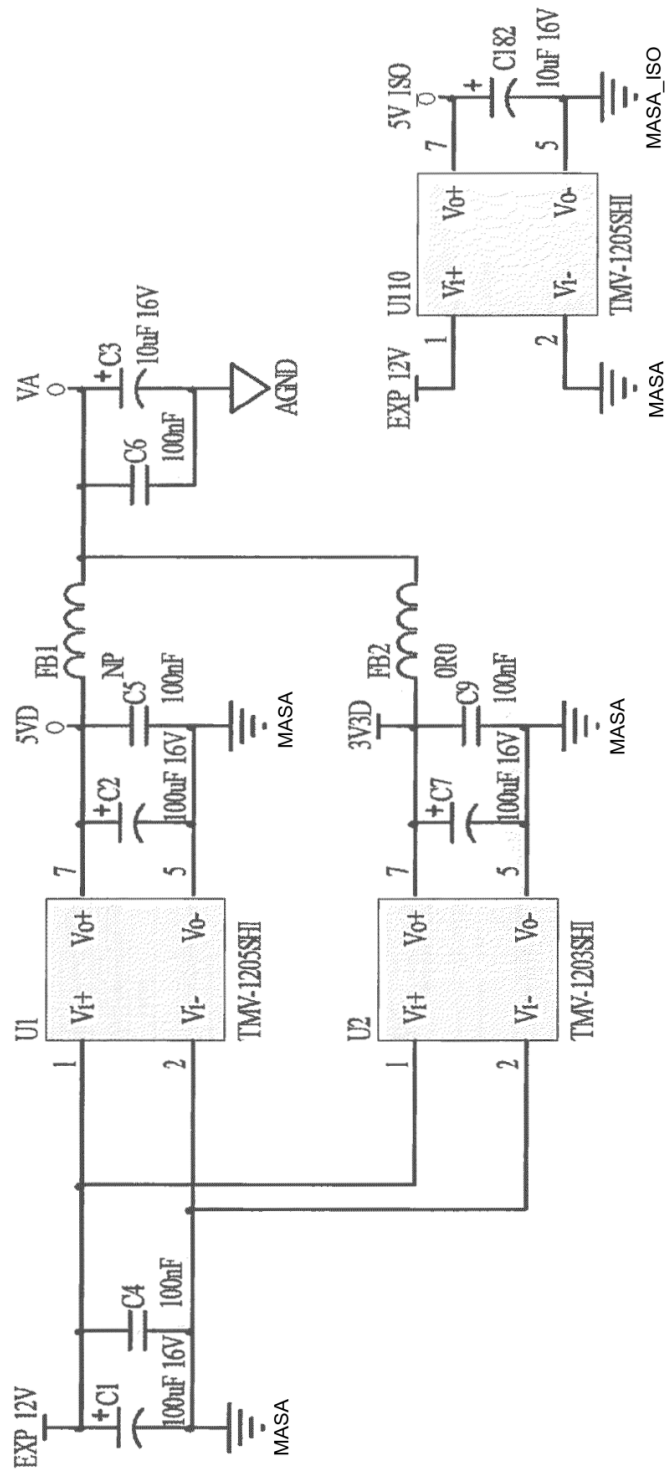


Fig. 5(d)

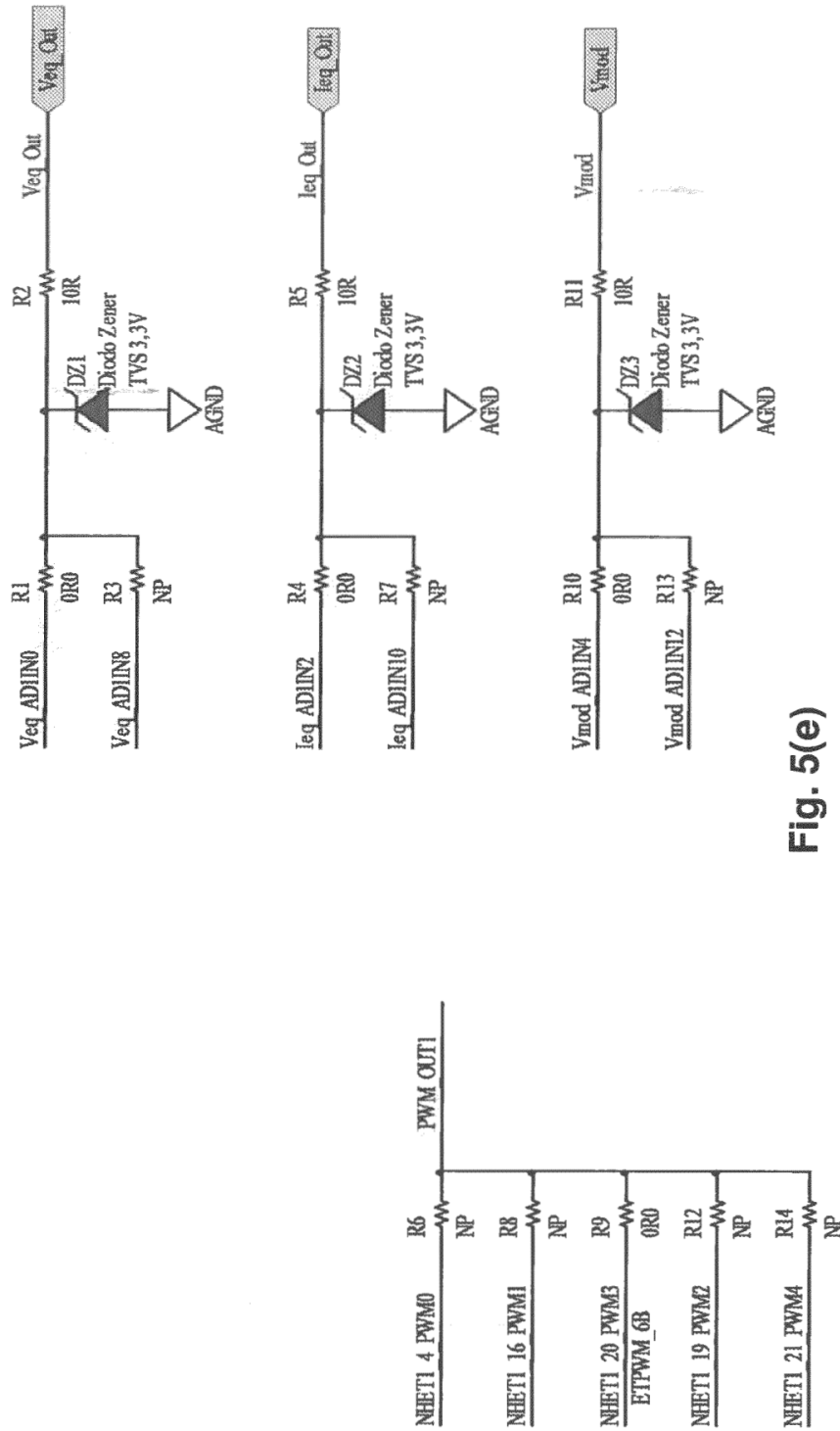


Fig. 5(e)

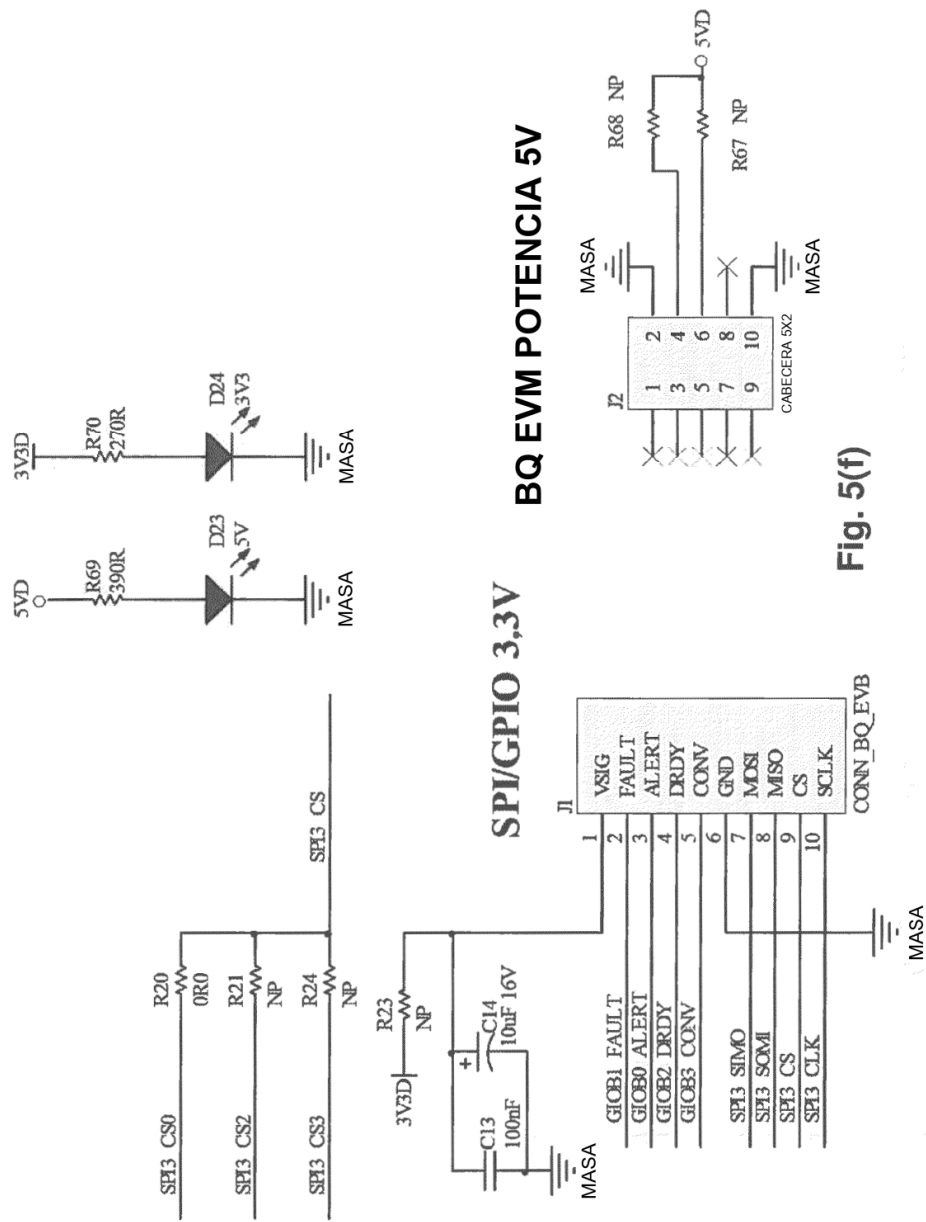


Fig. 5(f)

PWM/GPO 3,3V => 5V

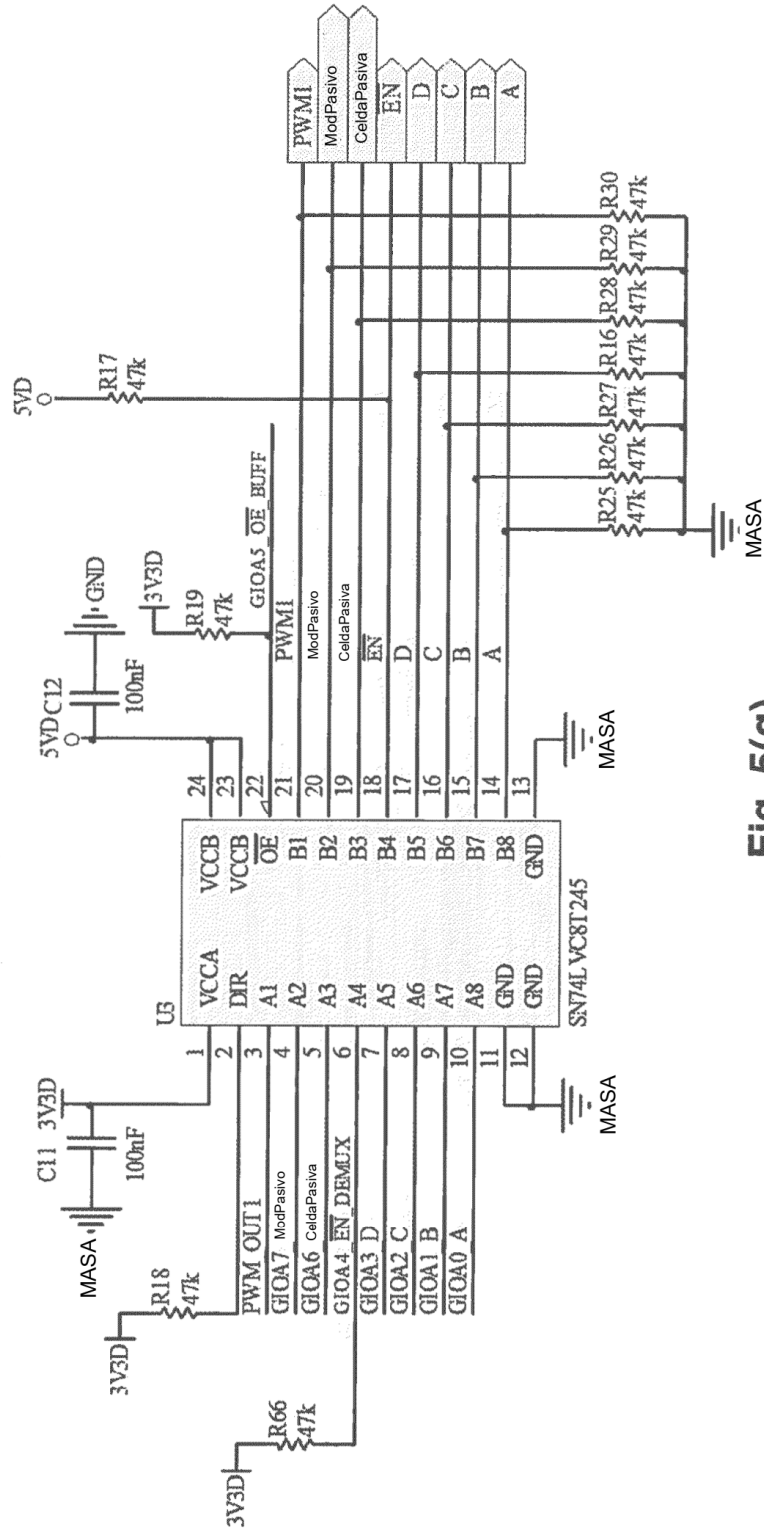


Fig. 5(g)

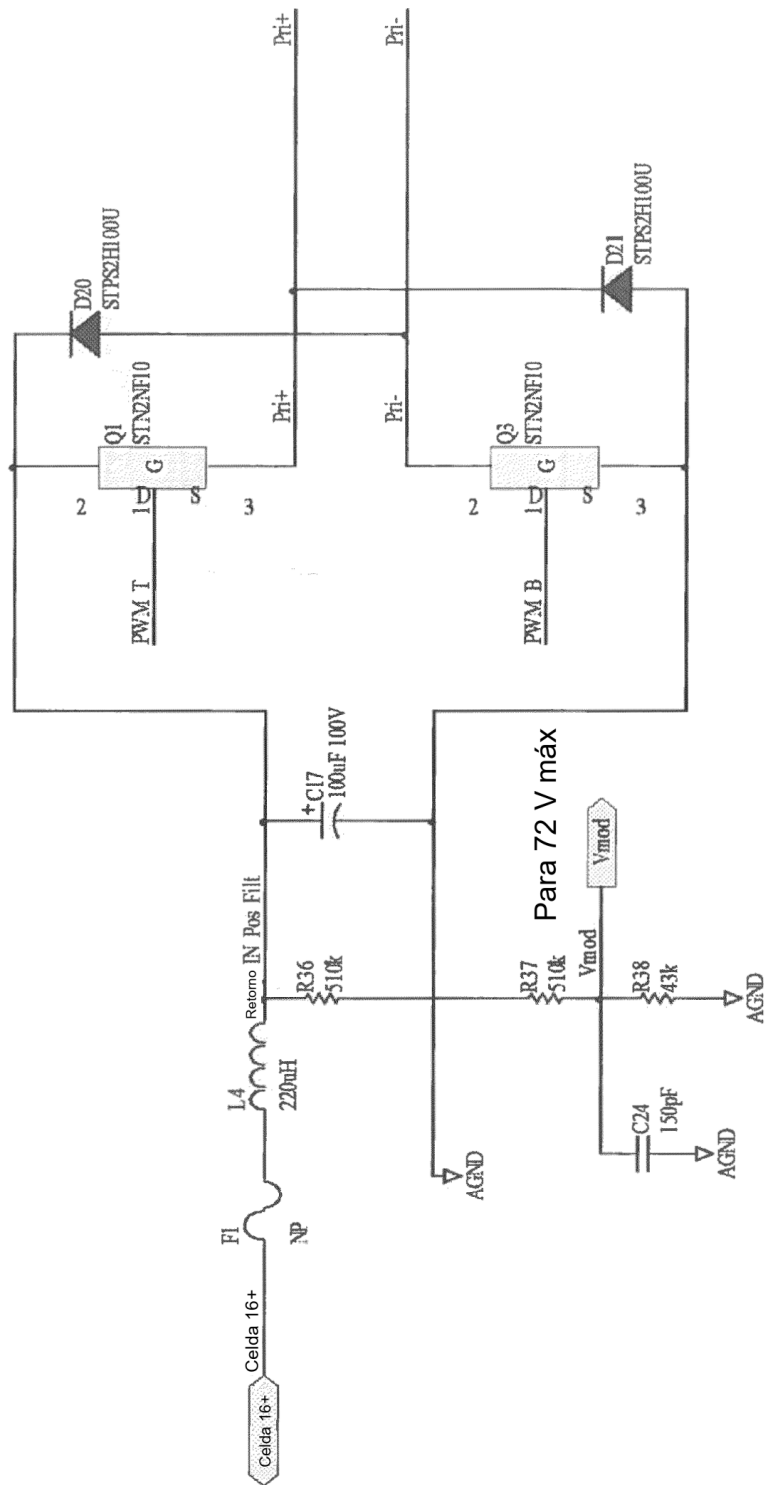


Fig. 6(a)

CONVERTIDOR DE RETORNO

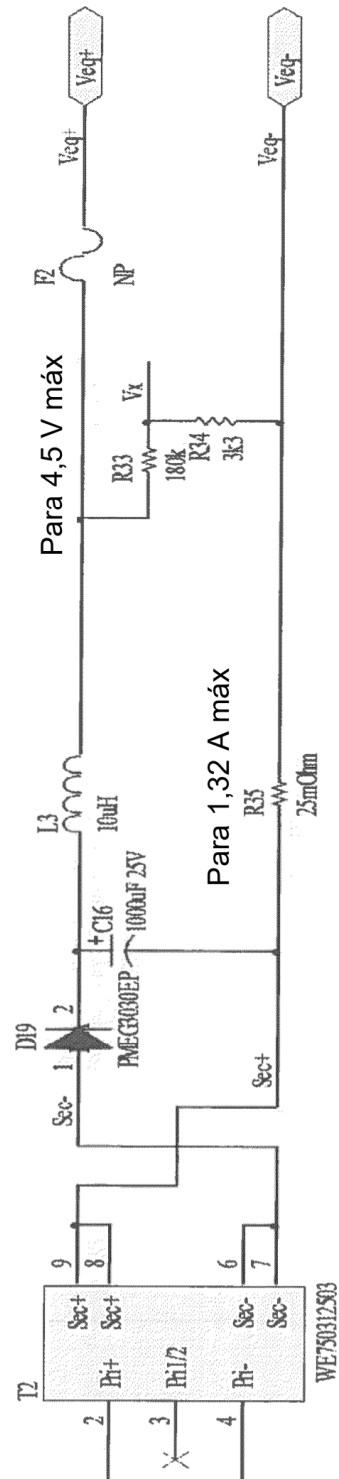


Fig. 6(b)

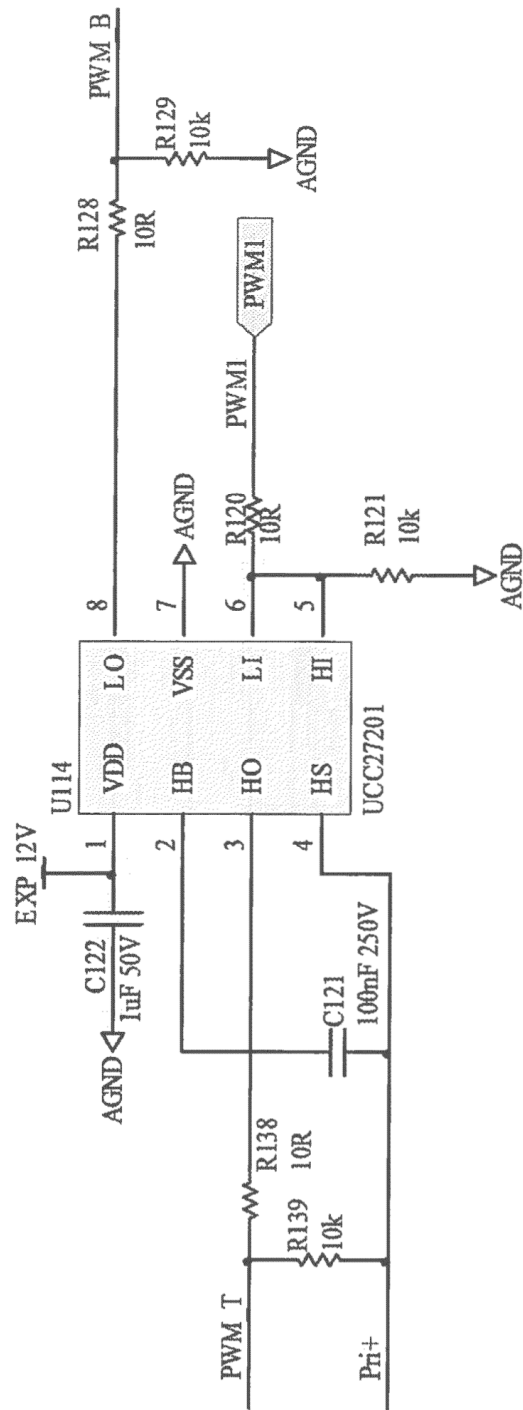
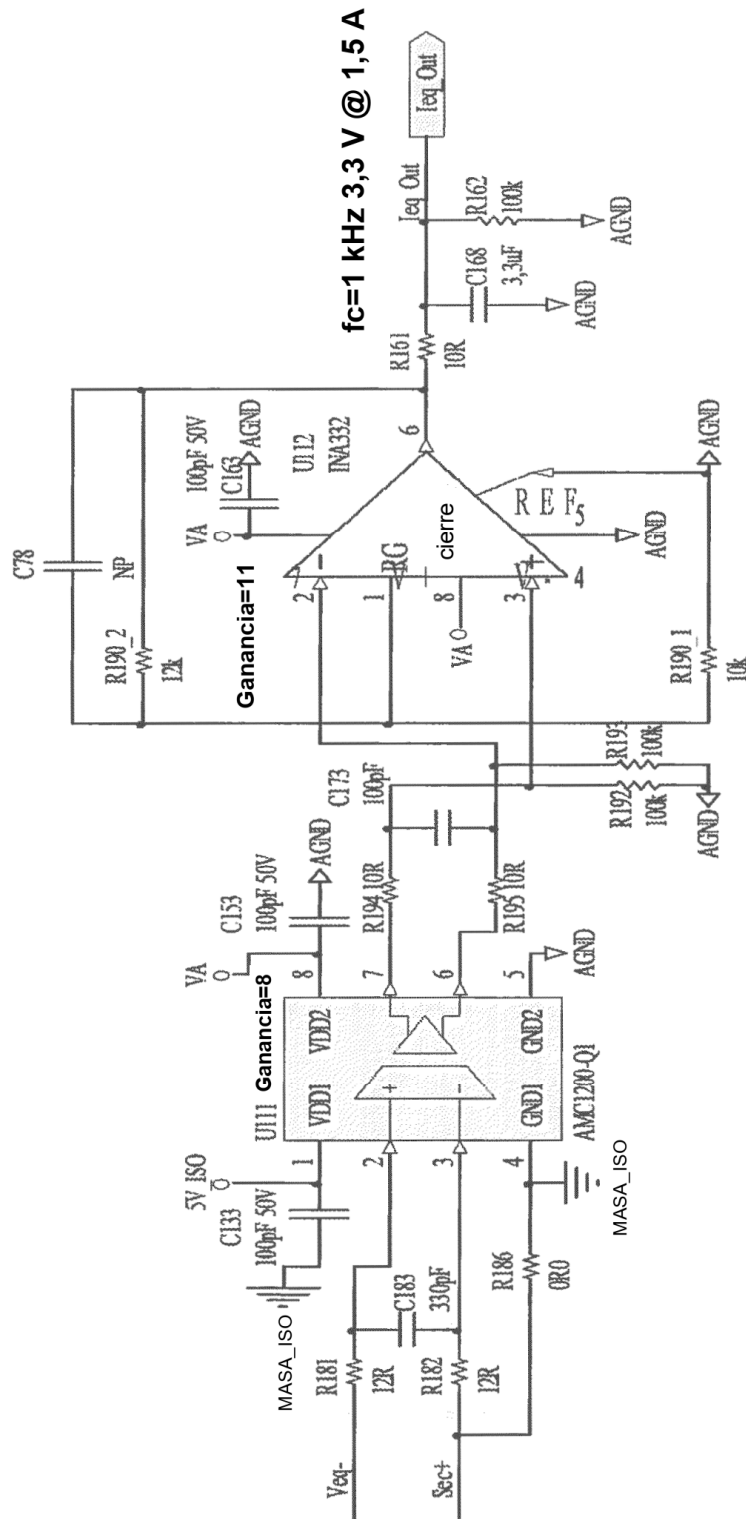


Fig. 6(c)



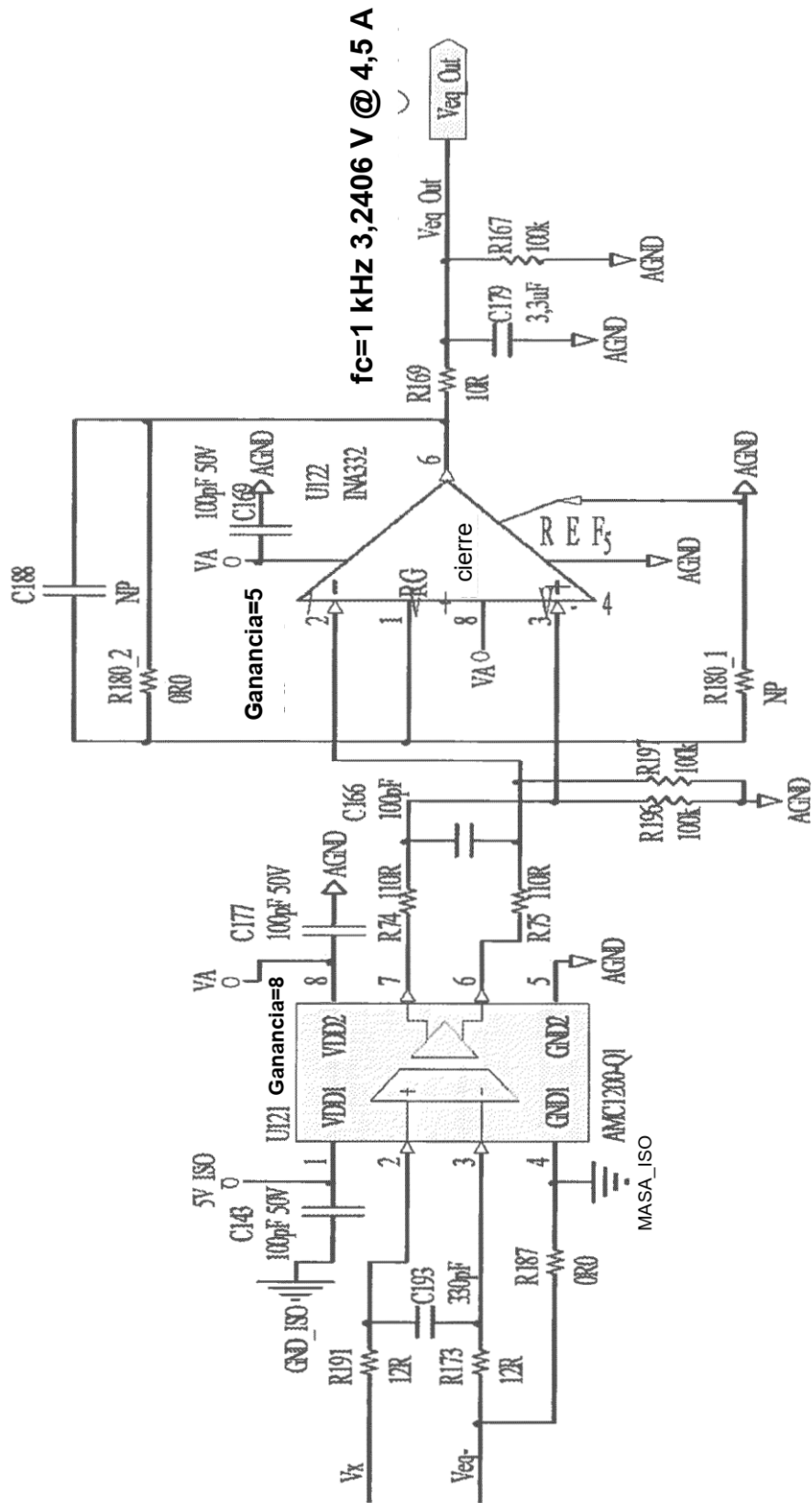
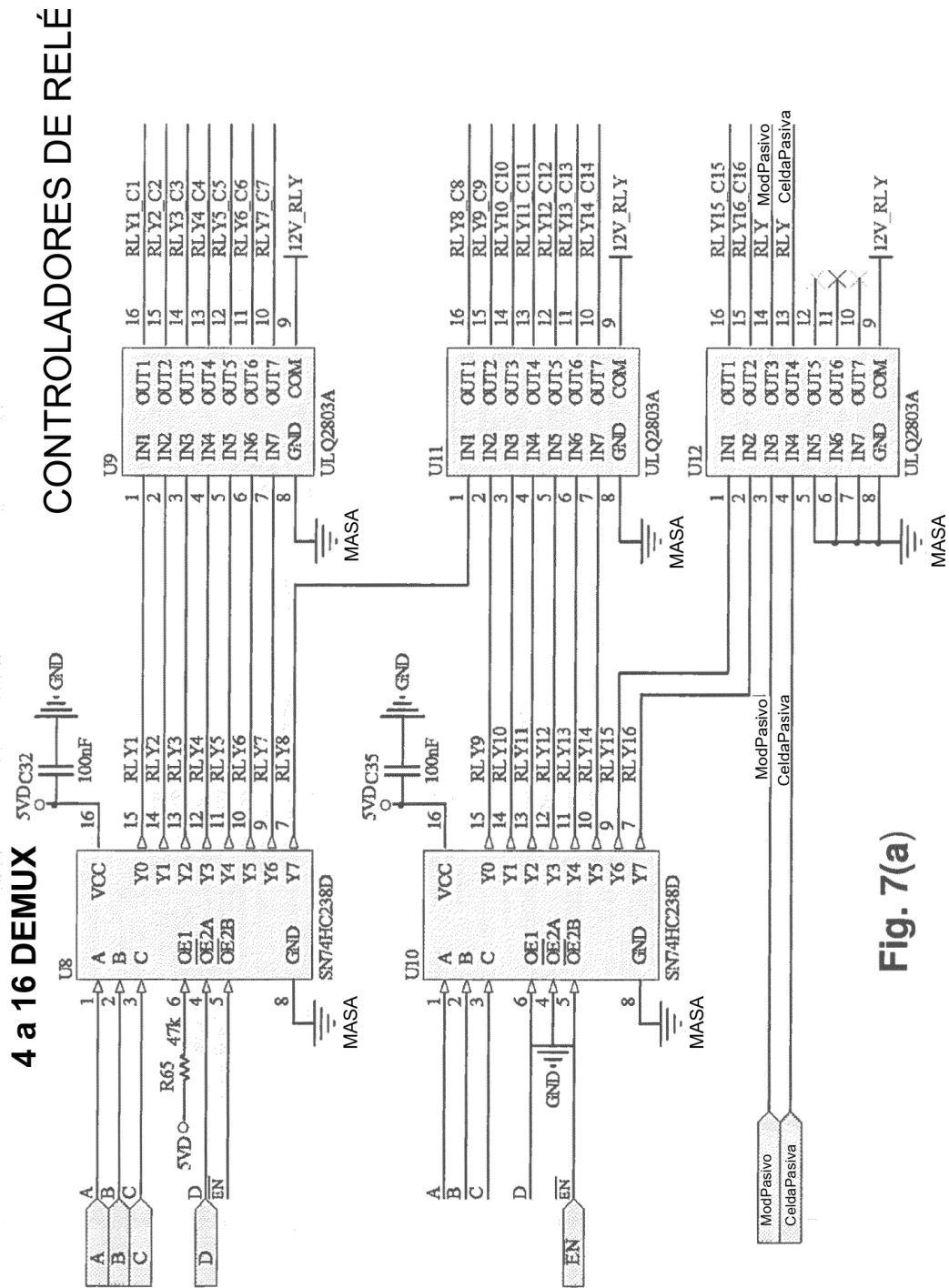


Fig. 6(e)



CONECTOR DE CELDAS

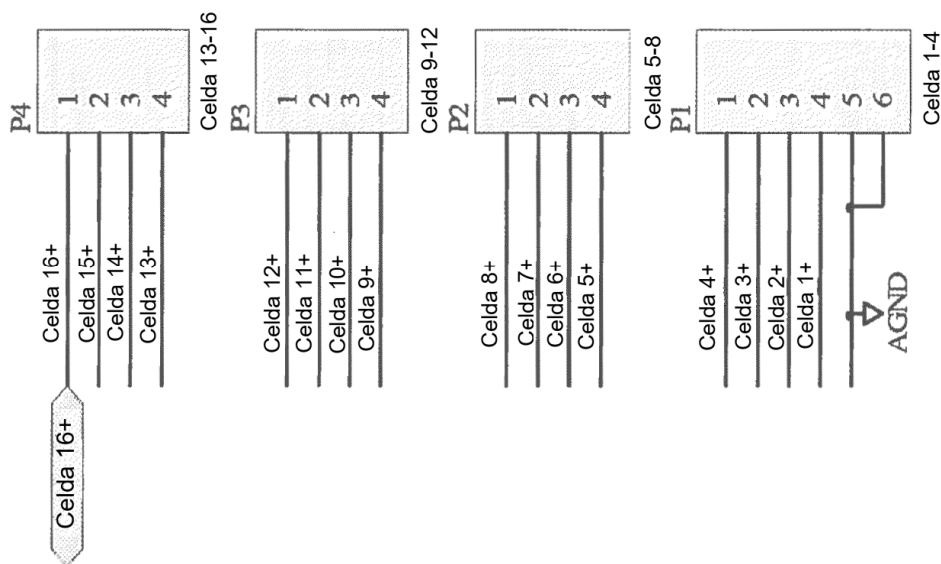


Fig. 7(b)

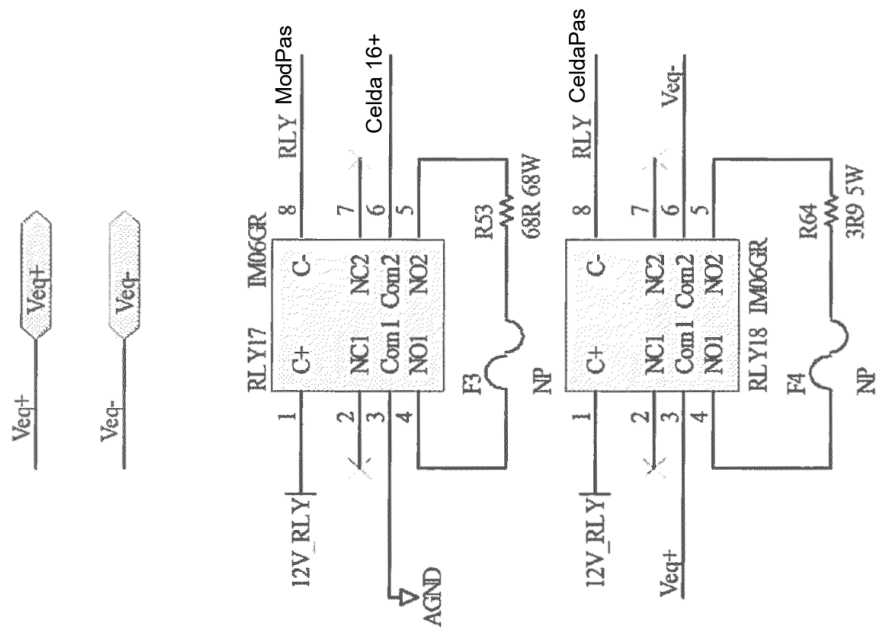


Fig. 7(c)

RELÉS

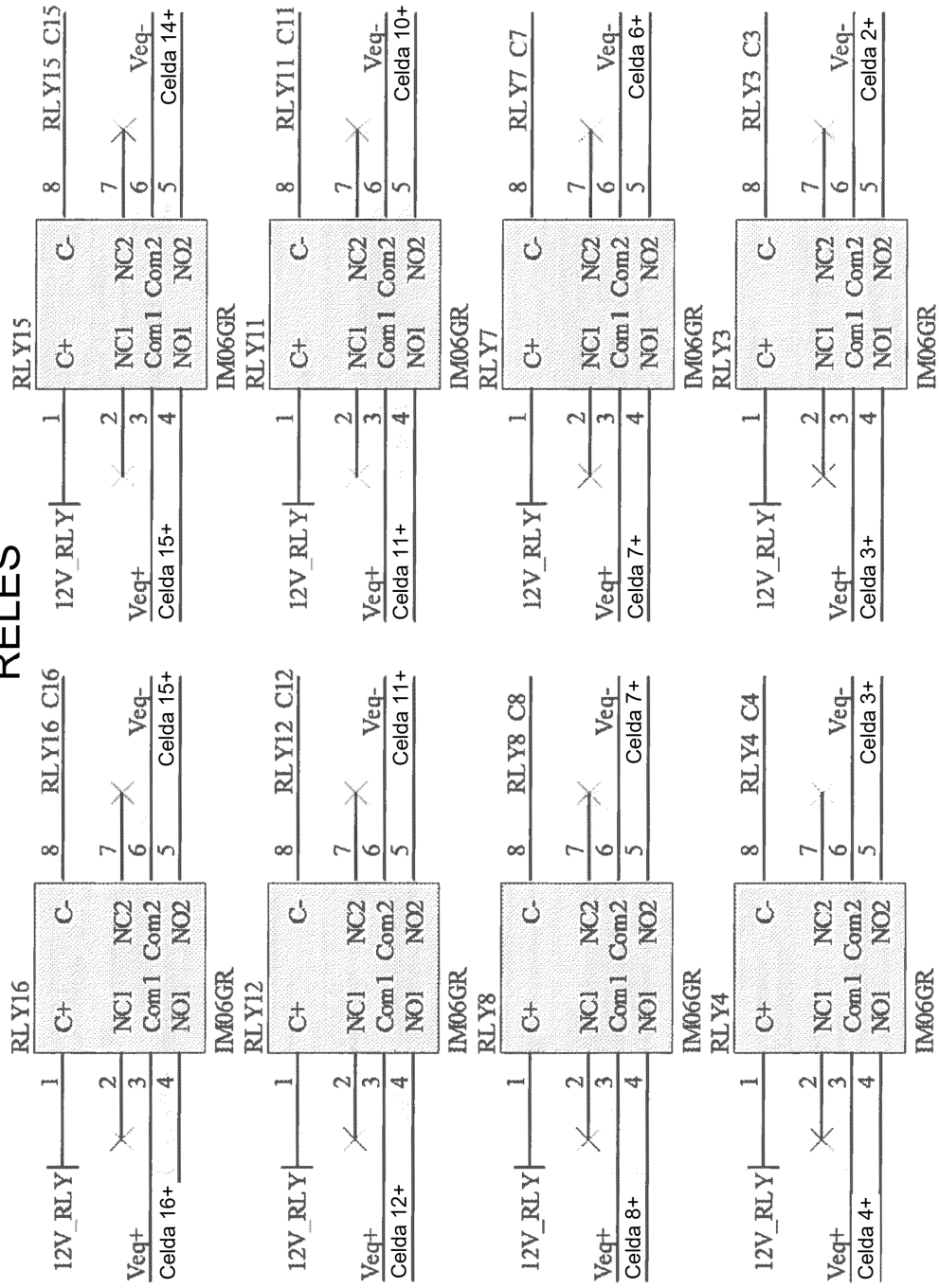


Fig. 7(d)

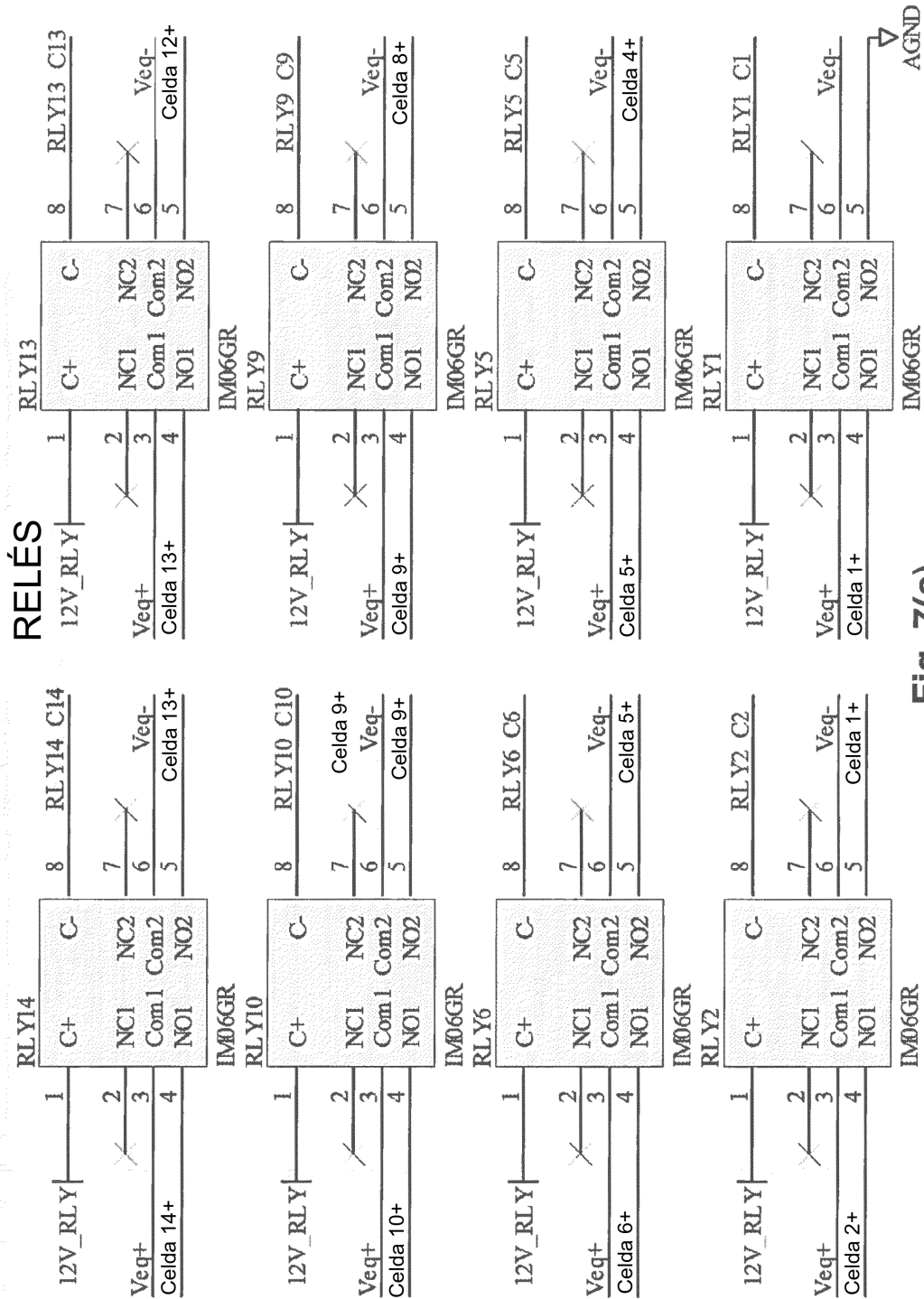


Fig. 7(e)

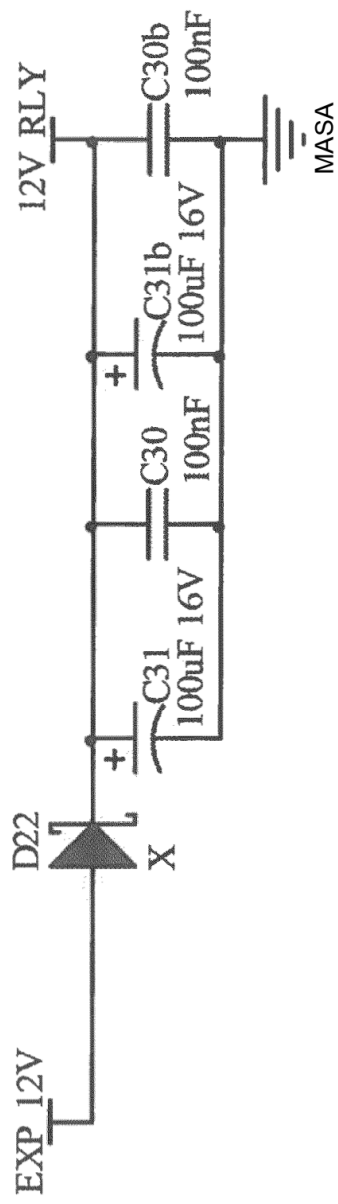
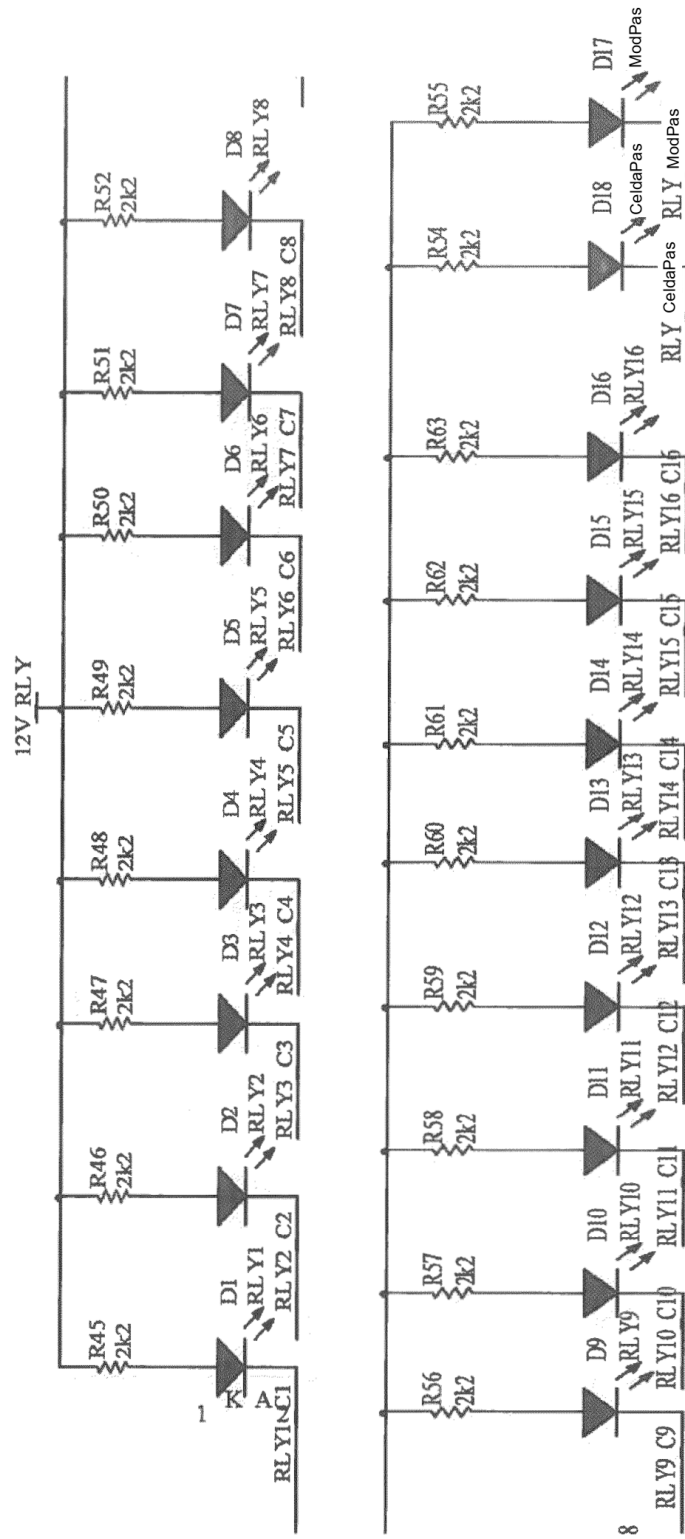


Fig. 7(f)



LED INDICADORES

Fig. 7(g)

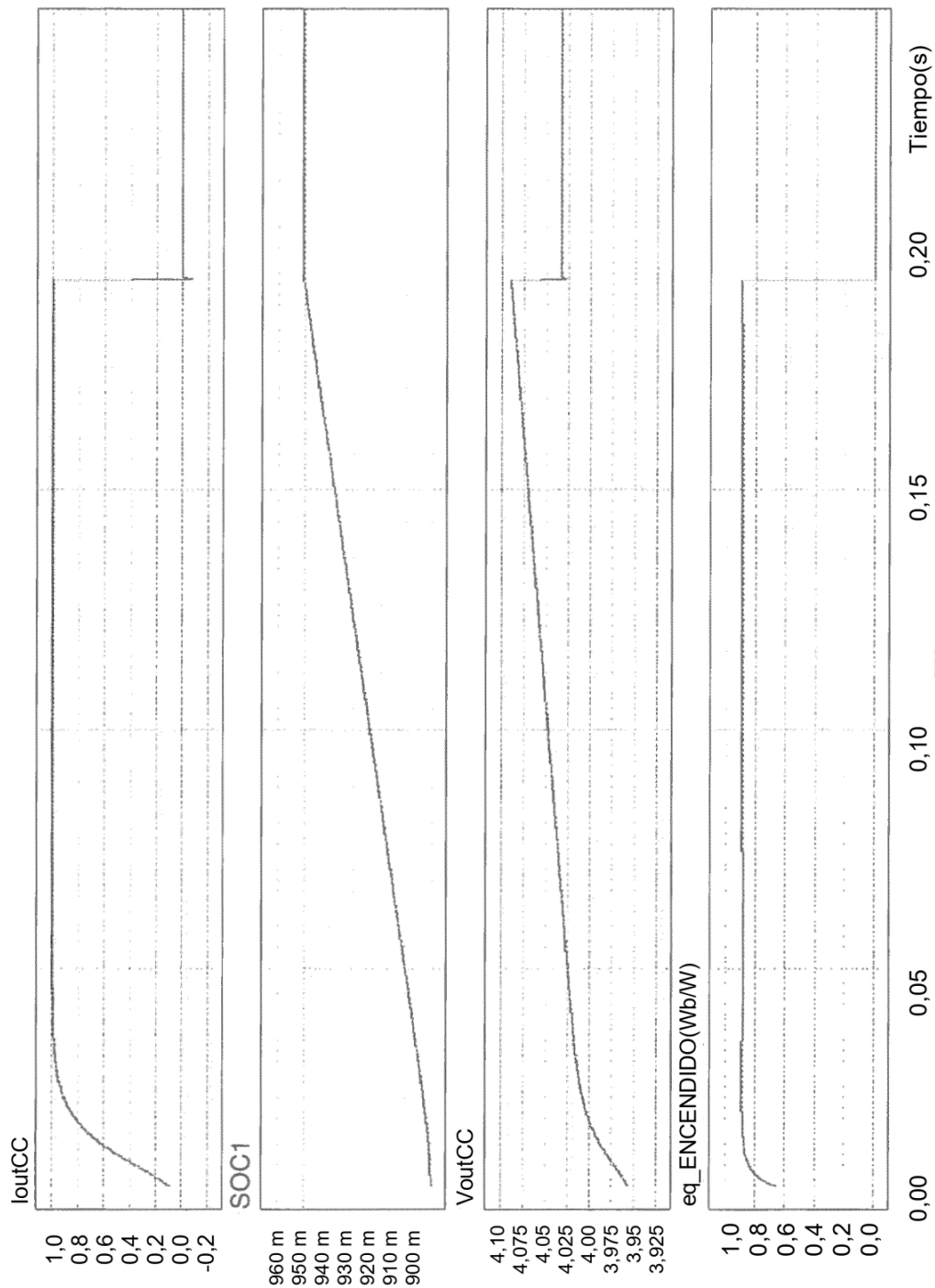


Fig. 8

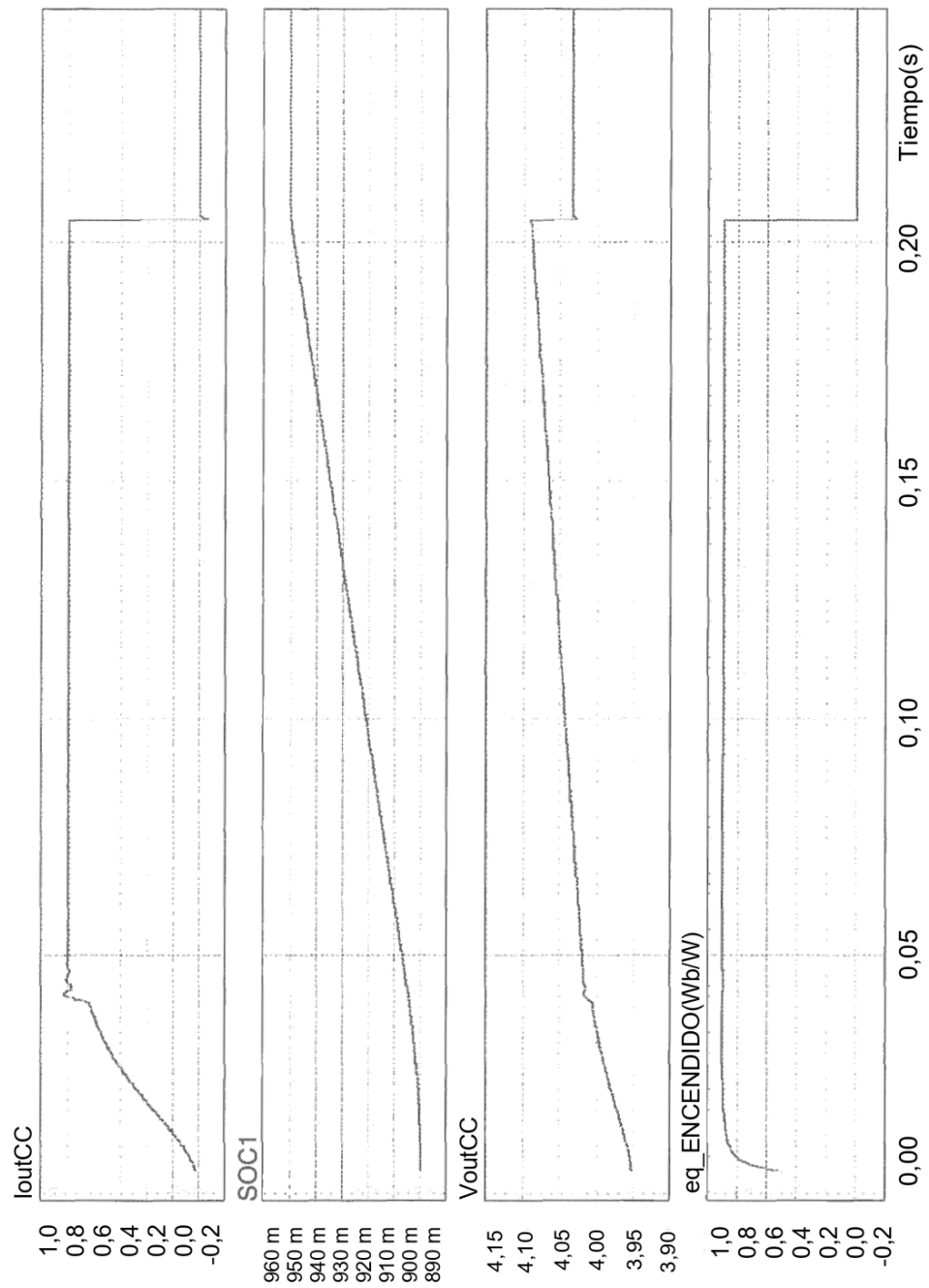


Fig. 9