

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 987**

21 Número de solicitud: 201430769

51 Int. Cl.:

G01R 27/02 (2006.01)

G01R 23/16 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

23.05.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.12.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2015/070387

71 Solicitantes:

INSTALACIONES INABENSA, S.A. (100.0%)
Calle Energía Solar, nº 1
41014 Sevilla ES

72 Inventor/es:

LÓPEZ DOMÍNGUEZ, José;
PÉREZ NIETO, Francisco José;
JIMÉNEZ LÓPEZ, José Luis;
GARCÍA MAESTRE, María Del Mar;
PÉREZ VEGA-LEAL, Alfredo y
RODRÍGUEZ RAMOS, Diego

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

54 Título: **DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO DE MEDIDA DE IMPEDANCIA DE UN ELEMENTO DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO**

ES 2 554 987 A1

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 987**

21 Número de solicitud: 201430769

57 Resúmen:

Dispositivo y procedimiento de medida de impedancia de un elemento de almacenamiento energético.

La invención se refiere a un dispositivo de medida de impedancia (100) de un elemento de almacenamiento energético (1), que comprende:

- medios de generación de un estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado;
- medios de transformación de dicho estímulo de corriente $i(f)$ a una señal de corriente en el dominio del tiempo;
- medios para ajustar esta señal de corriente a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético (1) y para excitar dicho elemento con esta señal de corriente ajustada;
- medios para medir (3, 4) unas señales de tensión y corriente, V_{bat} , I_{bat} en el dominio del tiempo del elemento de almacenamiento energético (1) y para acondicionar dichas señales medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} a un rango dinámico de unos medios de conversión analógico a digital (5);
- medios de conversión analógico a digital (5) para convertir dichas señales de tensión y de corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} , en una señales de tensión $V(t)$ y corriente $I(t)$ digitalizadas; y,
- medios de procesamiento y control (7) configurados para:
 - analizar la energía de dichas señales en el dominio de la frecuencia de tensión $V(f)$ y corriente $I(f)$ digitalizadas en torno a la frecuencia de estímulo; y
 - calcular un vector de impedancia $Z(f)$.

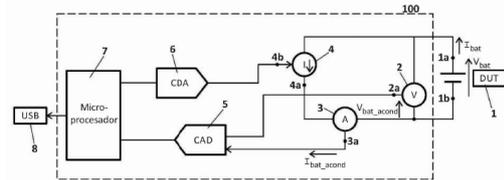


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO DE MEDIDA DE IMPEDANCIA DE UN ELEMENTO DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

5

Campo de la invención

La presente invención se engloba en el campo de los dispositivos eléctricos, y más concretamente en la medida de impedancia de tal dispositivo eléctrico mediante espectroscopia.

10

Antecedentes de la invención

15

Mediante la espectroscopia de impedancia electroquímica (también conocida como EIS, del inglés 'Electrochemical Impedance Spectroscopy') se mide la impedancia de un sistema sobre un rango de frecuencias, y por lo tanto, la respuesta de frecuencia del sistema, la cual nos aporta información sobre las propiedades del sistema de almacenamiento de energía. Los datos obtenidos mediante EIS habitualmente se representan gráficamente en un diagrama de Bode o un diagrama de Nyquist.

20

De esta forma, un sistema de medida de espectroscopia de impedancias permite la medida experimental de la impedancia de un dispositivo bajo prueba –DUT (device under test)– bien pasivo o activo, como es el caso de una batería, en el dominio de la frecuencia. El principio de funcionamiento consiste en excitar ese dispositivo bajo prueba DUT con una corriente con un contenido espectral determinado (típicamente senoidal o de barrido escalón) y medir las variaciones de tensión producidas en bornes del DUT. La relación entre ambas es la impedancia.

25

30

El método más extendido en la medida de impedancia es el barrido en frecuencia empleando estímulos de corriente senoidal (método galvanostático). Este consiste en aplicar una perturbación senoidal a distintas frecuencias, estudiando la respuesta del mismo para cada una de ellas. Se obtiene así un valor de impedancia para cada valor de frecuencia, pudiéndose construir un diagrama que represente el espectro de impedancia. Los límites del intervalo de frecuencias, el número de puntos y la elección de un barrido lineal o logarítmico dependen del sistema a estudiar, y se fijan con un determinado criterio para que los resultados proporcionen la máxima información posible.

35

En la actualidad existen sistemas comerciales que permiten realizar esta funcionalidad en condiciones de laboratorio, estando dentro del ámbito de los equipos de propósito general, debiendo ser alimentados desde la red eléctrica y precisando de la presencia de un usuario para su puesta en marcha y la obtención de resultados.

40

En el documento de patente US-2012/0105075-A1 se describe un método para caracterizar un sistema eléctrico mediante espectroscopia de impedancia, en el que se especifica un contenido espectral de la excitación limitando así la medida de impedancia. La principal diferencia con la invención estriba en el hecho de que no se puede cambiar el contenido espectral de un estímulo con amplitud plana en frecuencia. Este nuevo dispositivo permite una entrada multitono (la señal no tiene por qué ser senoides de la misma amplitud) consiguiendo una mejor respuesta.

45

En el documento de patente US-2008/0048662-A1 se presenta un sistema para monitorizar el estado de una batería centrándose en la señal de entrada en forma de pulso obteniendo una respuesta discreta en un instante concreto.

50

En estos sistemas conocidos de medida de espectroscopia de impedancias, la señal de entrada o estímulo empleada es una secuencia de señales (normalmente sinusoides) en el dominio de la frecuencia. El problema es que en ciertos dispositivos eléctricos, como por ejemplo, las baterías, la respuesta a la señal de entrada es diferente dependiendo de la frecuencia, siendo ésta más sensible a unas señales en el dominio de la frecuencia que a otras. Si bien se puede estimular con una señal de entrada rica en contenido espectral, la respuesta ante las componentes del estímulo de mayor frecuencia presenta menor sensibilidad (está más atenuada), por lo que se pierde resolución en la medida, necesitando mucha mayor energía para medir con la misma precisión en todo el rango.

55

Descripción de la invención

60

El dispositivo y el procedimiento de medida de la presente invención solucionan el problema de pérdida de resolución planteado con los sistemas existentes que emplean señales de entrada en el dominio de la frecuencia, estimulando el elemento de almacenamiento energético con una señal de entrada en el dominio del tiempo, que inicialmente es conocida en el dominio de la frecuencia; se elimina la parte de continua de la señal medida en el tiempo y únicamente se estudia el comportamiento de la componente alterna de la señal, consiguiendo una mayor resolución en la medida que en el caso de los dispositivos del estado del arte.

65

Un primer aspecto de la invención se refiere a un dispositivo de medida de impedancia de un elemento de almacenamiento energético, que comprende:

- medios de generación de un estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado;
- 5 - medios de transformación de dicho estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente en el dominio del tiempo;
- medios para ajustar esta señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético y para excitar el elemento de almacenamiento energético con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo;
- 10 - medios para medir unas señales de tensión y corriente, V_{bat} , I_{bat} en el dominio del tiempo del elemento de almacenamiento energético y para acondicionar dichas señales medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} a un rango dinámico de unos medios de conversión analógico a digital;
- 15 - medios de conversión analógico a digital para convertir dichas señales de tensión y de corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} , en una señales de tensión $V(t)$ y corriente $I(t)$ digitalizadas; y,
- medios de procesamiento y control configurados para:
 - analizar la energía de dichas señales en el dominio de la frecuencia de tensión $V(f)$ y corriente $I(f)$ digitalizadas en torno a la frecuencia de estímulo; y
 - 20 - calcular un vector de impedancia $Z(f)$.

Según una realización preferida, los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-alto para eliminar la componente continua de, al menos, la señal de tensión medida. Estos medios de acondicionamiento preferiblemente además comprenden al menos una etapa amplificadora para amplificar la

25 componente alterna de la señal de tensión no bloqueada por el filtro paso-alto. De esta forma se acondicionan las señales de tensión y corriente medidas en el elemento de almacenamiento energético al rango dinámico de los medios de conversión analógico-digital eliminando primero la componente continua de la señal medida, centrándola (offset) al rango de entrada de dichos medios de conversión y amplificándola para mayor resolución.

30 La frecuencia de corte de dicho filtro paso-alto depende preferiblemente del espectro de frecuencia del estímulo de corriente $i(f)$, que así mismo depende del rango de frecuencias que se desee observar. En la práctica, el rango de frecuencias empleado que da información útil se encuentra en el intervalo 0,01 Hz-2 kHz. Este intervalo de interés define la frecuencia de corte del filtro paso alto (en este caso, 0,01Hz).

35 Según una realización preferida, los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-alto para eliminar la componente continua de, al menos, la señal de corriente medida.

De acuerdo con una realización preferida, el dispositivo comprende:

- 40 - un divisor de tensión conectado entre la señal de tensión V_{bat} medida y el filtro paso-alto;
- dos resistencias en serie conectadas a una entrada negativa de un primer amplificador, así como una resistencia de realimentación conectada entre salida y entrada negativa del primer amplificador, estando una entrada positiva del primer amplificador puesta a tierra;
- 45 - dos resistencias en serie conectadas entre la salida del primer amplificador y una entrada negativa de un segundo amplificador, así como una resistencia de realimentación conectada entre salida y entrada negativa del segundo amplificador; y estando conectado a una entrada positiva del segundo amplificador un divisor de tensión formado por dos resistencias y dos condensadores.

50 Según otra realización preferida los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-bajo para obtener un valor de tensión promedio V_{prom} de la señal de tensión medida V_{bat} , y un comparador –como por ej., un amplificador– para obtener la señal de tensión acondicionada V_{bat_acond} como comparación de dichos valor de tensión V_{prom} y medido V_{bat} .

55 En esta posible realización mediante filtro paso-bajo, preferiblemente:

- el filtro paso-bajo está formado por una resistencia y varios condensadores conectados en paralelo;
- el filtro paso-bajo es inicializado mediante dos transistores –como por ej., transistores MOS– y un conjunto de resistencias;
- 60 - dicha señal de tensión V_{bat} medida se pasa por el filtro paso-bajo para obtener un valor de tensión promedio V_{prom} ; y

- dicha tensión promedio V_{prom} es comparada en el comparador a la señal de tensión V_{bat} medida, siendo la salida del comparador la señal de tensión acondicionada V_{bat_acond} .

5 Los medios para ajustar esta señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético y, para excitar el elemento de almacenamiento energético con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo preferiblemente comprenden una fuente de corriente.

10 La fuente de corriente preferiblemente comprende un transistor (puede ser un transistor nMOS) con una resistencia conectada entre drenador del transistor y una tensión de alimentación, y una resistencia conectada entre una fuente del transistor y una puesta a tierra; y además comprende un amplificador conectado a una puerta del transistor en realimentación negativa con la tensión de la fuente.

15 Los medios de generación de un estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado y los medios de transformación de dicho estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente en el dominio del tiempo están preferiblemente integrados en los medios de procesamiento y control, que puede ser un microprocesador o un procesador digital de señal.

20 Preferiblemente el contenido espectral del estímulo de corriente es configurable a diferentes frecuencias de forma que se puede analizar distintas partes del DUT cuyo correcto funcionamiento frente a fallo se observa a frecuencias respectivas.

25 Es decir, el dispositivo de la invención suministra un estímulo o señal de entrada adecuado en cada momento (mayor amplitud de señal para las frecuencias más bajas), consiguiendo además un ahorro de energía en el suministro de dicho estímulo. Esto se consigue transformando la señal de frecuencia al dominio del tiempo mediante una etapa electrónica de ajuste del estímulo de corriente.

30 Finalmente, el dispositivo y procedimiento de medida de impedancia de un elemento de almacenamiento energético de la invención calcula la impedancia de dicho elemento de almacenamiento energético en el dominio de la frecuencia pero aplicando un estímulo transformado del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo, y midiendo inicialmente su respuesta eléctrica en términos de tensión y corriente en el dominio del tiempo para finalmente pasarla a un intervalo amplio de frecuencias, consiguiendo así realizar un modelo eléctrico de la batería en el dominio de la frecuencia.

35 Frente a otros dispositivos y procedimientos conocidos, la invención presenta la ventaja añadida de que no daña el elemento de almacenamiento energético gracias al control del estímulo en amplitud y en frecuencia (no generando estímulos en frecuencias que puedan ser perjudiciales para la salud); además el dispositivo es de fácil manejo y los datos que se obtienen pueden analizarse utilizando un modelo de circuitos equivalentes.

40 La medida de la impedancia del elemento de almacenamiento energético mediante el dispositivo de la invención permite conocer el estado del mismo pudiendo realizar el correspondiente control o monitorización y detectando posibles fallos, como por ej., oxidaciones en contactos.

Otro aspecto de la invención se refiere a un procedimiento de medida de impedancia de un elemento de almacenamiento energético, que comprende:

- 45
- generar un estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado;
 - transformar dicho estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente I_{bat} en el dominio del tiempo;
 - ajustar esta señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético y excitar el elemento de almacenamiento energético con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo;

50

 - medir unas señales de tensión y corriente, V_{bat} , I_{bat} en el dominio del tiempo del elemento de almacenamiento energético y acondicionar dichas señales medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} a un rango dinámico de unos medios de conversión analógico a digital;
 - digitalizar dichas señales de tensión y de corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} , y

55

 - transformarlas en unas señales de tensión $V(t)$ y corriente $I(t)$ digitalizadas en el dominio de la frecuencia;
 - analizar la energía de dichas señales en el dominio de la frecuencia de tensión $V(f)$ y corriente $I(f)$ digitalizadas en torno a la frecuencia de estímulo; y
 - calcular un vector de impedancia $Z(f)$ como el cociente $V(f)/I(f)$.

60 La etapa de acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} preferiblemente comprende eliminar la componente continua de, al menos, la señal de tensión V_{bat} medida.

65 Esta componente continua de la señal de tensión V_{bat} medida puede eliminarse mediante un filtro paso-alto. En este caso preferiblemente se amplifica la componente alterna de la señal de tensión no bloqueada por el filtro paso-alto.

La etapa de acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} puede comprender obtener un valor de tensión promedio V_{prom} de la señal de tensión medida V_{bat} , y obtener dicha señal de tensión acondicionada V_{bat_acond} comparando dicho valor de tensión promedio V_{prom} con la señal de tensión medida V_{bat} .

El valor de tensión promedio V_{prom} preferiblemente se obtiene pasando la señal de tensión medida V_{bat} por un filtro paso-bajo y la comparación se realiza con un amplificador.

En una realización preferida el procedimiento de la invención además comprende una etapa adicional de interpretar los datos obtenidos de $Z(f)$ con patrones y diagnosticar el elemento de almacenamiento energético.

Realizaciones preferidas de este procedimiento se definen en las reivindicaciones dependientes.

Otras ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes de la descripción detallada que sigue y serán particularmente señaladas en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de las figuras

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de figuras en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 muestra esquemáticamente los diferentes elementos del dispositivo de medida de impedancia de la invención.

La Figura 2 muestra un esquema detallado de una primera realización posible del acondicionamiento de la señal de tensión medida en bornes de la batería.

La Figura 3 muestra un esquema detallado de una primera realización posible del acondicionamiento de la señal de corriente medida de la batería.

La Figura 4 muestra un esquema detallado de una segunda realización posible del acondicionamiento de la señal de tensión medida en bornes de la batería. En este caso no es necesario un circuito para acondicionar la señal de corriente medida de la batería, puesto que ya está a baja frecuencia.

La Figura 5 muestra un esquema de la fuente de corriente encargada ajustar el estímulo de corriente generado por el DSP o microprocesador a la carga demandada por la batería en cada momento, y excitar con dicha corriente ajustada la batería.

La Figura 6 muestra de forma esquemática el acondicionamiento de la señal de tensión medida en los terminales de la batería (que en la Fig. 1 ha sido esquemáticamente representado como un voltímetro 2) y que puede apreciarse con más detalle en las figuras 2 y 4 en sus dos realizaciones preferentes.

La Figura 7 muestra de forma esquemática la medida de la señal de corriente de la batería (que en la Fig. 1 ha sido esquemáticamente representado como un amperímetro 3), y que puede apreciarse con más detalle en la figura 3.

Descripción de un modo de realización de la invención

En la Figura 1 se muestra un esquema general del dispositivo de medida de impedancia 100 de un dispositivo bajo prueba, en este caso un elemento de almacenamiento eléctrico como es una batería 1.

Para ello, el dispositivo de medida de impedancia de la invención 100 comprende un microprocesador 7, que también puede ser un procesador digital de señal DSP, que genera un estímulo consistente en una señal de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado. Esta señal de corriente es transformada del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo mediante una transformada inversa de Fourier (IFFT) y un convertidor digital-analógico 6. Mediante una fuente de corriente 4 (véase Fig. 5) se ajusta esta señal de corriente resultante en el dominio del tiempo $i(t)$ a la carga necesaria de la batería 1 en cada momento.

Como parte del dispositivo 100 de la invención, éste incluye sendos circuitos de medida y acondicionamiento de las señales de tensión e intensidad instantáneas medidas de la batería 1. Estos circuitos han sido representados esquemáticamente en la Figura 1 como un voltímetro 2 y un amperímetro 3 conectados en bornes de y en serie con la batería 1, respectivamente. En estos circuitos, además de realizarse las medidas de tensión y corriente instantáneas de la batería, se acondicionan las señales al rango dinámico de un convertidor analógico-digital ADC 5, donde las señales son digitalizadas antes de entrar en el microprocesador 7, donde se transforman la

señales de tensión y corriente al dominio de la frecuencia mediante por ej., transformación directa de Fourier (FFT), para determinar la impedancia de la batería en el rango de frecuencias correspondiente.

5 El circuito de medida y acondicionamiento de la señal de tensión o voltímetro 2 no mide tensiones escaladas como ocurre en los dispositivos del estado de la técnica (la tensión medida es en el punto intermedio entre dos resistencias), sino que mide una tensión filtrada o banda de interés de tensión. Esto es porque sólo interesa la parte alterna (desechando la componente de continua) de la señal de tensión de la batería 1.

10 Para filtrar la señal de tensión existen dos posibles realizaciones preferidas del circuito de medida y acondicionamiento de la señal de tensión o voltímetro 2.

15 En la Figura 2 se muestra una primera realización preferida posible del acondicionamiento de la señal de tensión Vbat medida en terminales 1a-1b de la batería 1. La señal de tensión Vbat es una señal de alta tensión que es acondicionada eliminando su componente de continua para la gama de frecuencias a analizar (en el ejemplo mostrado para frecuencias superiores a 10 mHz); para ello se hace pasar la señal de tensión por un filtro paso-alto formado por un condensador C23 y una resistencia R24 conectada a tierra, para así fijar su componente alterna a partir de 10 mHz antes de pasar por un primer amplificador 21a. Previo al filtro paso-alto formado por el condensador C23 y la resistencia R24 se incluye un divisor de tensión de Vbat formado por las resistencias R1, R2 y R3; la ganancia del primer amplificador 21a se controla por medio de un potenciómetro R4 conectado en serie con una resistencia R5 que se conectan a la entrada negativa del primer amplificador 21a, así como mediante una resistencia R6 de realimentación conectada entre la salida del primer amplificador 21a y su entrada negativa. Por su parte el primer amplificador 21a está alimentado mediante tensiones de +12 V y -12 V, con respectivos condensadores C10 y C11 puestos a tierra para evitar ruidos.

25 Mediante un segundo amplificador 21b se realiza la amplificación de la señal de alterna que no ha sido bloqueada, controlándose la ganancia de este segundo amplificador mediante otro potenciómetro R7 conectado en serie con una resistencia R8, que se conectan a la entrada negativa del segundo amplificador 21b, junto con una resistencia R9 de realimentación. De forma similar al primer amplificador 21a, el segundo amplificador 21b está alimentado mediante tensiones de +12 V y -12 V, con respectivos condensadores C5 y C4 puestos a tierra y que sirven para evitar ruido.

30 Mediante el divisor de tensión formado por las resistencias R25 conectadas entre los condensadores C7 y C2 – que sirven para evitar ruido– se consigue tener una tensión constante en la entrada positiva del segundo amplificador 21b que es comparada con la tensión Vbat medida en bornes de la batería 1 tras la primera etapa de amplificación. De esta forma se centra la señal de salida, que es la señal de tensión de la batería ya acondicionada Vbat_acond, en el rango de entrada del convertidor analógico-digital DAC 5 (2,5 V), maximizándose el rango dinámico de la señal amplificada y aumentando la relación señal ruido (SNR, signal to noise ratio) en esta señal de tensión de la batería ya acondicionada Vbat_acond.

35 Los valores de las resistencias son: R1=R2=1 kohm; R3=100 kohm; R24=1,6 kohm; R25=10 kohm. Y los valores de los condensadores son: C23=10 mF; C10=C11=C2=C4=C5=C7=100 nF.

40 Como se ha indicado, este circuito de acondicionamiento de la señal de tensión tiene alta ganancia, puesto que los requerimientos de corriente son pequeños en relación con la capacidad que tienen las baterías de facilitar intensidad-potencia lo que se traduce en una pequeña respuesta en forma de caída de tensión. Por ello se incluyen dos amplificaciones 21a y 21b para conseguir este objetivo, y modificando los valores de las resistencias R4-R5-R6 y R7-R8-R9 se controla el valor de la ganancia de cada amplificador.

45 En la Figura 3 se muestra un circuito de medida y acondicionamiento de la señal de corriente Ibat medida en la batería 1 (muy similar al circuito de medida y acondicionamiento de la señal de tensión Vbat medida en la batería 1). Aunque la señal de corriente Ibat sea una señal cuasi-conocida ya que no es más que la adaptación del estímulo de corriente, hay que medirla porque siempre puede haber distorsiones al generar la señal. Como hay que introducir un filtro para la medida y acondicionamiento de la parte de tensión que va a introducir una distorsión definida, este mismo filtro se aplica para acondicionar la parte de corriente (la medida que se obtiene de impedancia es V/I, si a V se le aplican distorsiones, estas mismas se le aplican a I).

50 En esta Figura 3 las resistencias R24', R25', R1'-R9', los condensadores C23' C2', C4', C5', C7', C10' y C11' y los amplificadores 21a', 21b' realizan las mismas funciones que, respectivamente, las resistencias R24, R24, R1-R9, los condensadores R23, C2, C4, C5, C7, C10 y C11 y los amplificadores 21a, 21b de la Figura 2.

55 Los valores de las resistencias y de los condensadores son: R1'=R2'=100 ohm; R3'=100 kohm; R24'=1,6 kohm; R25'=10 kohm; C23'=10 mF; C10'=C11'=C2'=C4'=C5'=C7'=100 nF.

60 Esta etapa de acondicionamiento de corriente en paralelo al acondicionamiento de tensión hace que las medidas de ambas señales sean más similares entre sí en relación a posibles interferencias de ruido y no-linealidades del dispositivo y del propio acondicionamiento. En este acondicionamiento de corriente se introduce también un filtro

65

paso-alto, para que ambas ramas estén afectadas por el mismo tipo de filtro en frecuencia. Si bien hay que indicar que el circuito de acondicionamiento de la señal de tensión tiene una ganancia más alta que la ganancia del circuito de acondicionamiento de la señal de corriente.

5 En la Figura 4 se muestra una segunda realización preferente posible del acondicionamiento de la señal de tensión V_{bat} medida en terminales 1a-1b de la batería 1. En este caso concreto el circuito tiene un filtro paso-bajo 50 que deja pasar únicamente la señal con frecuencia inferior a 10 mHz. Los dos transistores MOS 53 y las resistencias R mostradas en esta Figura 4 sirven para hacer una precarga de cinco condensadores C52 conectados en paralelo que componen el filtro paso-bajo 50 (para inicializar el filtro), donde la resistencia 51 es la resistencia de entrada del filtro. De esta forma, aunque la batería 1 tiene oscilaciones en función de la corriente, tras pasar la tensión instantánea de la batería V_{bat} por el filtro paso-bajo 50 se obtiene el valor de tensión promedio V_{prom} , cuyo valor puede comprobarse a través de una sonda 60 coaxial. La puerta del transistor MOS 53 está conectada a una pata de salida digital del microprocesador 7. Mediante esta pata se controla el estado de activación del MOS.

15 Este filtro paso-bajo 50 se ajusta al rango de frecuencias que se quiera medir. Este valor de tensión promedio V_{prom} depende de la batería 1, entre otros, de su nivel de carga. En el caso de baterías de vehículos eléctricos, son típicas tensiones de batería de 400V. Por tanto, en ambos nodos (V_{bat} y V_{prom}) los valores de tensión hacen necesario elegir de forma cuidadosa, tanto el amplificador 21, como el transistor 53.

20 De esta forma en el amplificador 21 se introduce el valor instantáneo de la tensión V_{bat} en bornes de la batería 1 que es comparado con el valor de tensión promedio V_{prom} , obteniéndose así la variación en el tiempo de la tensión en la batería 1 a la salida del amplificador 21, que es la señal de tensión de la batería ya acondicionada V_{bat_acond} para ser introducida en el convertidor analógico-digital CAD 5.

25 Para obtener la tensión promedio se elige el valor de $R_{51}=10$ kohm y $C_{52}=2$ mF (en este caso se han utilizado cinco en paralelo, haciendo un total de 10 mF). Por su parte, R10 tiene la función de ajuste de la ganancia del amplificador 21. Se elige un valor de $R_{10}=100$ kohm para obtener una ganancia de 10.

30 Es decir, mediante una u otra realización se elimina la parte de continua de la señal de tensión medida en los terminales 1a-1b de la batería 1 para tener una medida de tensión dentro de un rango determinado. Este rango viene dado por el rango dinámico del convertidor analógico-digital DAC 5. La señal de la corriente continua ocupa más bits que la de la señal alterna. Al quitar la parte continua de la señal de tensión se aprovecha todo el rango del convertidor analógico-digital CAD 5 consiguiendo una medida de mejor resolución.

35 De esta forma se consigue una señal filtrada en el rango de interés, que varía con el tiempo, y con una alta resolución de la medida de tensión, lo que permite obtener una buena medida de impedancia.

40 En la Figura 5 se muestra la fuente de corriente 4 que proporciona el estímulo de corriente o excitación a la batería 1. Se trata de una fuente de corriente 4 controlada por tensión, de manera que si se incrementa la tensión se incrementa la corriente y si se reduce la tensión en sus bornes de la misma forma se reduce la corriente. De esta forma la fuente de corriente 4 ajusta la señal generada por el microprocesador 7 o DSP para demandar un estímulo de corriente determinado a la batería.

45 Esta etapa de ajuste de la señal generada por el microprocesador 7 en el estímulo de corriente demandado a la batería 1 incluye un transistor nMOS 44 que modula este estímulo de corriente y que se controla mediante la tensión de su fuente V_s (punto 44s). El transistor nMOS 44 se abre o se cierra según la tensión. Entre fuente 44s y puerta 44g la resistencia R_s es conocida, por lo que aplicando la Ley de Ohm se puede conocer el estímulo de corriente $I_{bat,eis}$ que se le demanda a la batería: $I_{bat,eis}=I_s=V_s/R_s$; este estímulo de corriente $I_{bat,eis}$ que se demanda a la batería 1 debería ser prácticamente igual a la señal de corriente medida I_{bat} por el amperímetro 3, salvo por distorsiones entre la generación y la medida.

50 Como control del transistor 44 se tiene un amplificador operacional 41 en modo fuente de corriente 4 controlada por tensión, ya que su lazo de realimentación es la caída de tensión entre puerta 44g-fuente 44s. De esta forma se persigue que la tensión de la fuente V_s siga al estímulo de corriente bajo condiciones de realimentación negativa y que el amplificador operacional 41 funcione en su zona lineal; es decir, que la tensión V_s siga a la tensión en la entrada positiva del amplificador operacional 41.

55 Por otra parte, para evitar que el transistor nMOS 44 tenga que disipar toda la potencia (que sería $V_{bat} \cdot I_{bat,eis}$) demandada para el estímulo de corriente, se inserta una resistencia R42 de 10 ohm en el drenador (punto 44d) del transistor 44. La resistencia R43 de 1 ohm conectada entre la fuente del transistor y tierra permite sensar el valor de corriente, ajustando la salida del amplificador 41 al valor necesario para que la corriente siga a la consigna (salida del CDA 6).

60 En la Figura 6 se muestra de forma esquemática el acondicionamiento de la señal de tensión medida en la batería de la primera realización mostrada en la Figura 2. La señal de tensión medida V_{bat} se pasa por un filtro

5 paso-alto formado por un condensador C23 de 10 mF y una resistencia R24 de 1,6 kohm conectada a tierra; este filtro paso-alto deja pasar la alta frecuencia: rechaza la corriente continua y deja pasar la señal a partir de una frecuencia, en este ejemplo concreto a partir de 10 mHz. El amplificador 21 actúa como seguidor de tensión (para lo cual utiliza una tensión de referencia V_{ref}), obteniéndose una tensión a la salida V_{bat_acond} , que está dentro del rango dinámico del convertidor analógico-digital CAD 5.

10 En la Figura 7 se muestra un esquema del circuito del amperímetro 3, que esencialmente está formado por una resistencia R32 con valor conocido de muy baja tolerancia, por ej., 0.1% (o muy alta precisión) y un amplificador 31 operacional, para amplificar la caída de tensión en la resistencia R32; esta caída de tensión lógicamente es igual al valor de la resistencia R32 por la corriente I_{bat} procedente de la batería. Esta señal de tensión a la salida 3a del amplificador 31 pasa por el convertidor analógico-digital 5 para transformar la señal a digital antes de su entrada al microprocesador 7. Como se puede ver en la Figura 1 este amperímetro 3 está conectado físicamente al terminal 1b de la batería; el otro terminal 1a de la batería 1 está conectado a la fuente de corriente 4 que está dispuesta en serie con el amperímetro de forma que la corriente que sale de la batería 1 pasa por la resistencia R32=10 mohm interna del amperímetro para una adecuada medida de la impedancia. Se escoge R32=10 mohm puesto que por ella pasa la corriente demandada a la batería, para evitar grandes pérdidas de energía y excesiva disipación térmica, y por ello tiene un valor muy reducido. La tensión medida también lo será, por lo que es necesaria la amplificación dada por el amplificador 31.

20 En el dispositivo de la invención se contempla demandar una corriente de aproximadamente 0,1 A para una batería de 8Ah y transitorios de 80 mA de amplitud. Si se aumenta esta corriente se recalcularían las resistencias del drenador del transistor nMOS 44 (Fig. 5).

25 Las dos medidas acondicionadas de tensión y corriente V_{bat_acond} , I_{bat_acond} concentran la información para la medida de la impedancia Z, que se obtiene calculando su cociente (complejo), una vez estas medidas de tensión y corriente han sido digitalizadas en el convertidor analógico-digital CAD 5 y pasadas al dominio de la frecuencia, $V(f)$, $I(f)$, en el microprocesador 7 o DPS, mediante una transformada directa de Fourier (FFT). Esta impedancia $Z(f)=V(f)/I(f)$ permite el estudio o diagnóstico del elemento de almacenamiento de energía (batería), de por ej., un vehículo. Esta impedancia Z puede ser representada gráficamente mediante un diagrama de Bode o de Nyquist, puede servir de base a un del algoritmo de diagnóstico de la batería.

El dispositivo de la invención además comprende una salida de datos, como por ej., a través de un USB 8, del microprocesador, para su análisis.

35 Desde un punto de vista de electrónica, el dispositivo de la invención ha sido integrado todo en una única placa de procesamiento de la señal analógica y digital que se sirve de dos subplacas: una con el acondicionamiento de la señal de entrada analógica (módulo entrada analógica, IA) y otra con el acondicionamiento de la salida analógica (módulo salida analógica, OA). Estas placas se conectan a la batería 1. Esto permite:

- 40 - Flexibilidad de diseño y adaptación a las variaciones de las baterías, ya que los módulos IA/OA se pueden modificar adaptándose al tipo de batería que se desee analizar.
- Mayor seguridad de operación al rechazar los niveles de tensión de la batería por encima del nivel de entrada del convertidor analógico-digital, entregando únicamente los valores transitorios de tensión adaptados al rango de entrada de los circuitos de conversión analógico-digital, evitando la posibilidad de fallos.
- 45 - Mayor facilidad y menor coste de reemplazo en caso de avería, al ser las partes más susceptibles de fallo incluidas en subplacas que son fácilmente reemplazables.
- Autonomía del equipo que le permite estar integrado en el DUT sin necesidad de fuente de alimentación (se puede alimentar directamente del DUT)

50 Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas que se han descrito sino abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro de lo que se desprende de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medida de impedancia (100) de un elemento de almacenamiento energético (1), caracterizado por que comprende:
- medios de generación de un estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado;
 - medios de transformación de dicho estímulo de corriente $i(f)$ en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente en el dominio del tiempo;
 - medios para ajustar esta señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético (1) y para excitar el elemento de almacenamiento energético (1) con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo;
 - medios para medir (3, 4) unas señales de tensión y corriente, V_{bat} , I_{bat} en el dominio del tiempo del elemento de almacenamiento energético (1) y para acondicionar dichas señales medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} a un rango dinámico de unos medios de conversión analógico a digital (5);
 - medios de conversión analógico a digital (5) para convertir dichas señales de tensión y de corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} , en una señales de tensión $V(t)$ y corriente $I(t)$ digitalizadas; y,
 - medios de procesamiento y control (7) configurados para:
 - analizar la energía de dichas señales en el dominio de la frecuencia de tensión $V(f)$ y corriente $I(f)$ digitalizadas en torno a la frecuencia de estímulo; y
 - calcular un vector de impedancia $Z(f)$.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-alto (C23, R24) aplicable a la señal de tensión V_{bat} medida.
3. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} además comprenden al menos una etapa amplificadora (21a, 21b) para amplificar la componente alterna de la señal de tensión no bloqueada por el filtro paso-alto (C23, R24).
4. Dispositivo según cualquier de las reivindicaciones 2-3, en el que los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-alto (C23', R24') aplicable a la señal de corriente I_{bat} medida.
5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que la frecuencia de corte de dichos filtros paso-alto (C23, R24; C23', R24') dependen del espectro de frecuencia del estímulo de corriente $i(f)$.
6. Dispositivo según cualquiera la reivindicación 5, en el que dicha frecuencia de corte está entre 10 mHz y 2 kHz.
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2-6, que comprende:
- un divisor de tensión (R1, R2, R3; R1', R2', R3') conectado entre la señal de tensión V_{bat} medida y el filtro paso-alto (C23, R24; C23', R24');
 - dos resistencias en serie (R4, R5; R4', R5') conectadas a una entrada negativa de un primer amplificador (21a; 21a'), así como una resistencia (R6; R6') de realimentación conectada entre salida y entrada negativa del primer amplificador (21a; 21a'), estando una entrada positiva del primer amplificador (21a; 21a') puesta a tierra;
 - dos resistencias en serie (R7, R8; R7', R8') conectadas entre la salida del primer amplificador (21a; 21a') y una entrada negativa de un segundo amplificador (21b; 21b'), así como una resistencia (R9; R9') de realimentación conectada entre salida y entrada negativa del segundo amplificador (21b; 21b'); y estando conectado a una entrada positiva del segundo amplificador (21b; 21b') un divisor de tensión formado por dos resistencias (R25, R25') y dos condensadores (C2, C7; C2', C7').
8. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que los valores de las resistencias son $R1=R2=1\text{ kohm}$, $R3=100\text{ kohm}$, $R24=1,6\text{ kohm}$, $R25=10\text{ kohm}$ y los valores de los condensadores son $C23=10\text{ mF}$, $C10=C11=C2=C4=C5=C7=100\text{ nF}$.
9. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que los valores de las resistencias son $R1'=R2'=100\text{ ohm}$, $R3'=100\text{ kohm}$, $R24'=1,6\text{ kohm}$, $R25'=10\text{ kohm}$ y los valores de los condensadores son $C23'=10\text{ mF}$, $C10'=C11'=C2'=C4'=C5'=C7'=100\text{ nF}$.
10. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los medios para acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, V_{bat_acond} , I_{bat_acond} comprenden un filtro paso-bajo (R51, C52) aplicable a la señal de tensión V_{bat} medida y un comparador (21).

11. Dispositivo según la reivindicación 10, en el que:
- el filtro paso-bajo (R51, C52) está formado por una resistencia (R51) y varios condensadores (C52) conectados en paralelo;
 - el filtro paso-bajo es inicializado mediante dos transistores (53) y un conjunto de resistencias (R);
- 5 - dicha señal de tensión Vbat medida se pasa por el filtro paso-bajo para obtener un valor de tensión promedio Vprom; y
- dicha tensión promedio Vprom es comparada en el comparador (21) a la señal de tensión Vbat medida, siendo la salida del comparador (21) la señal de tensión acondicionada Vbat_acond.
- 10 12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicación 10-11, en el que la resistencia R51 tiene un valor de 10 kohm y los condensadores C52 un valor de 2mF.
13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en el que los medios para ajustar la señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético (1) y para excitar el elemento de almacenamiento energético (1) con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo comprenden una fuente de corriente (4).
- 15 14. Dispositivo según la reivindicación 13, en el que la fuente de corriente (4) comprende un transistor (44) con una resistencia (R42) conectada entre un drenador (44d) del transistor (44) y una tensión de alimentación, y una resistencia (R43) conectada entre una fuente (44s) del transistor (44) y una puesta a tierra; y además comprende un amplificador (41) conectado a una puerta (44g) del transistor en realimentación negativa con la tensión de la fuente (Vs).
- 20 15. Dispositivo según la reivindicación 14, en el que la resistencia R42 tiene un valor de 10 ohm y la resistencia R43 tiene un valor de 1 ohm.
- 25 16. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-15, en el que los medios de generación de un estímulo de corriente i(f) en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado y los medios de transformación de dicho estímulo de corriente i(f) en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente en el dominio del tiempo están integrados en los medios de procesamiento y control (7).
- 30 17. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-16, en el que el contenido espectral del estímulo de corriente i(f) es configurable a diferentes frecuencias.
- 35 18. Procedimiento de medida de impedancia (100) de un elemento de almacenamiento energético (1), caracterizado por que comprende:
- generar un estímulo de corriente i(f) en el dominio de la frecuencia con un contenido espectral dado;
 - transformar dicho estímulo de corriente i(f) en el dominio de la frecuencia a una señal de corriente en el dominio del tiempo;
- 40 - ajustar esta señal de corriente en el dominio del tiempo a un nivel de carga del elemento de almacenamiento energético y excitar el elemento de almacenamiento energético (1) con esta señal de corriente ajustada en el dominio del tiempo;
- medir unas señales de tensión y corriente, Vbat, Ibat en el dominio del tiempo del elemento de almacenamiento energético (1) y acondicionar dichas señales medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, Vbat_acond, Ibat_acond a un rango dinámico de unos medios de conversión analógico a digital (5);
 - digitalizar dichas señales de tensión y de corriente acondicionadas, Vbat_acond, Ibat_acond, y transformarlas en unas señales de tensión V(t) y corriente I(t) digitalizadas;
 - analizar la energía de dichas señales en el dominio de la frecuencia de tensión V(f) y corriente I(f) digitalizadas en torno a la frecuencia de estímulo; y
 - calcular un vector de impedancia Z(f) como el cociente V(f)/I(f).
- 45 50 19. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que la etapa de acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, Vbat_acond, Ibat_acond comprende eliminar la componente continua de, al menos, la señal de tensión Vbat medida mediante un filtro paso-alto (C23, R24).
- 55 20. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que la etapa de acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, Vbat_acond, Ibat_acond además comprende amplificar la componente alterna de la señal de tensión no bloqueada por el filtro paso-alto (C23, R24).
- 60 21. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que la etapa de acondicionar dichas señales de tensión y corriente medidas a unas señales de tensión y corriente acondicionadas, Vbat_acond, Ibat_acond comprende obtener un valor de tensión promedio Vprom de la señal de tensión medida Vbat, y obtener dicha señal de tensión acondicionada Vbat_acond comparando dicho valor de tensión promedio Vprom con la señal de tensión
- 65

medida Vbat.

5 22. Procedimiento según la reivindicación 21, en el que dicho valor de tensión promedio V_{prom} se obtiene pasando la señal de tensión medida Vbat por un filtro paso-bajo (R51, C52), y la comparación se realiza con un amplificador (21).

10 23. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18-22, que además comprende una etapa adicional de interpretar los datos obtenidos de Z(f) con patrones y diagnosticar el elemento de almacenamiento energético (1).

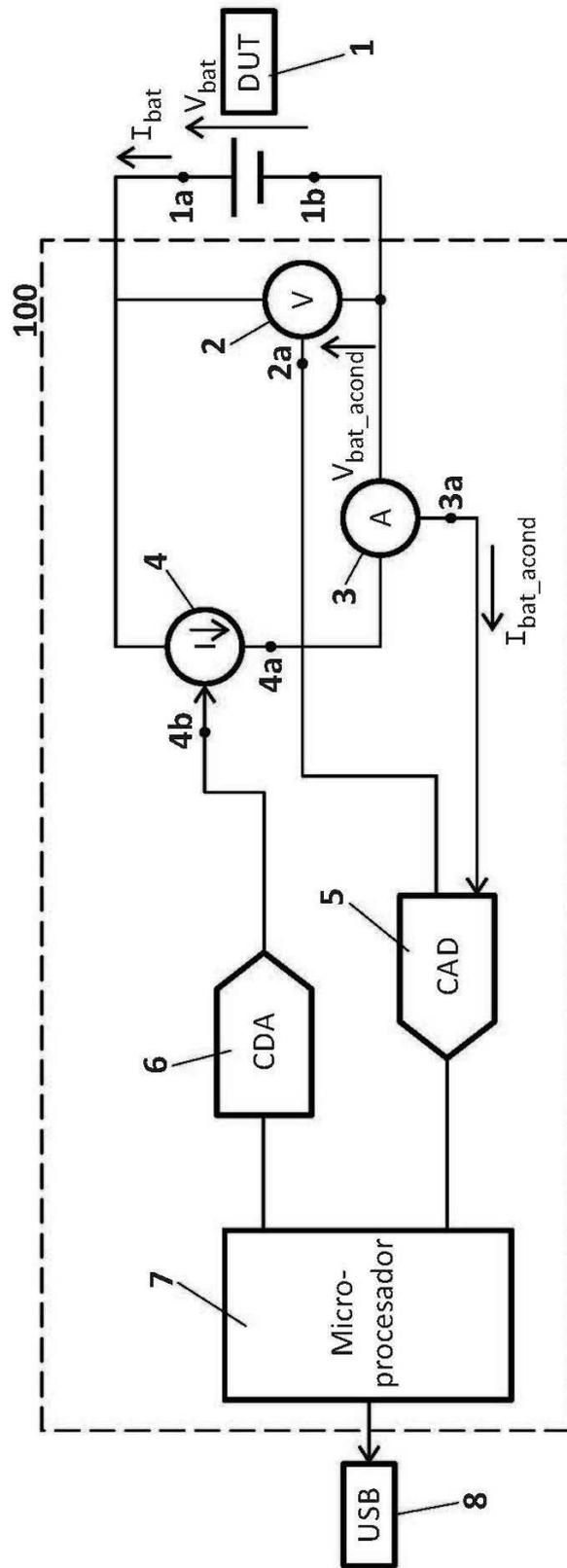


FIG. 1

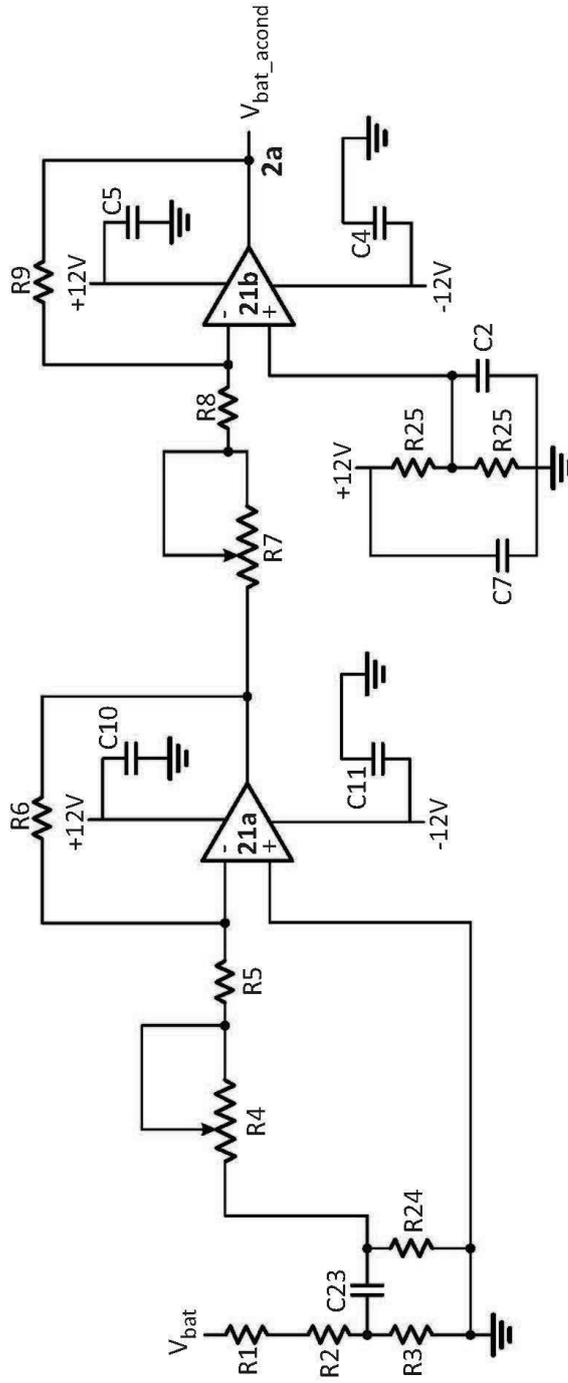


FIG. 2

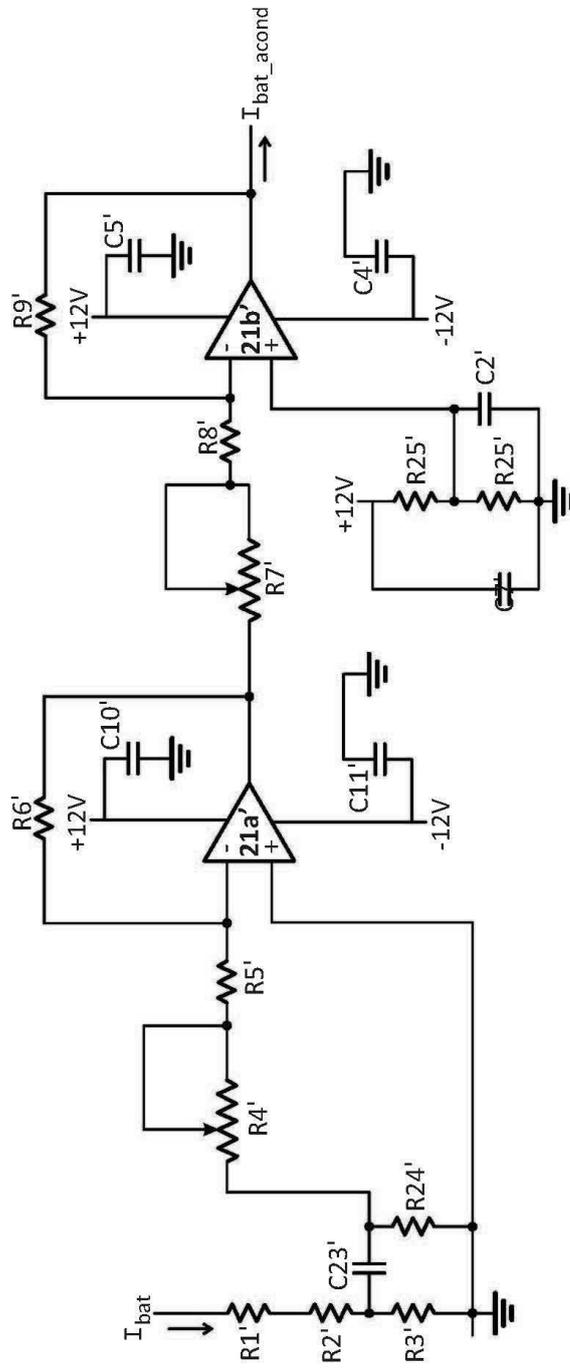


FIG. 3

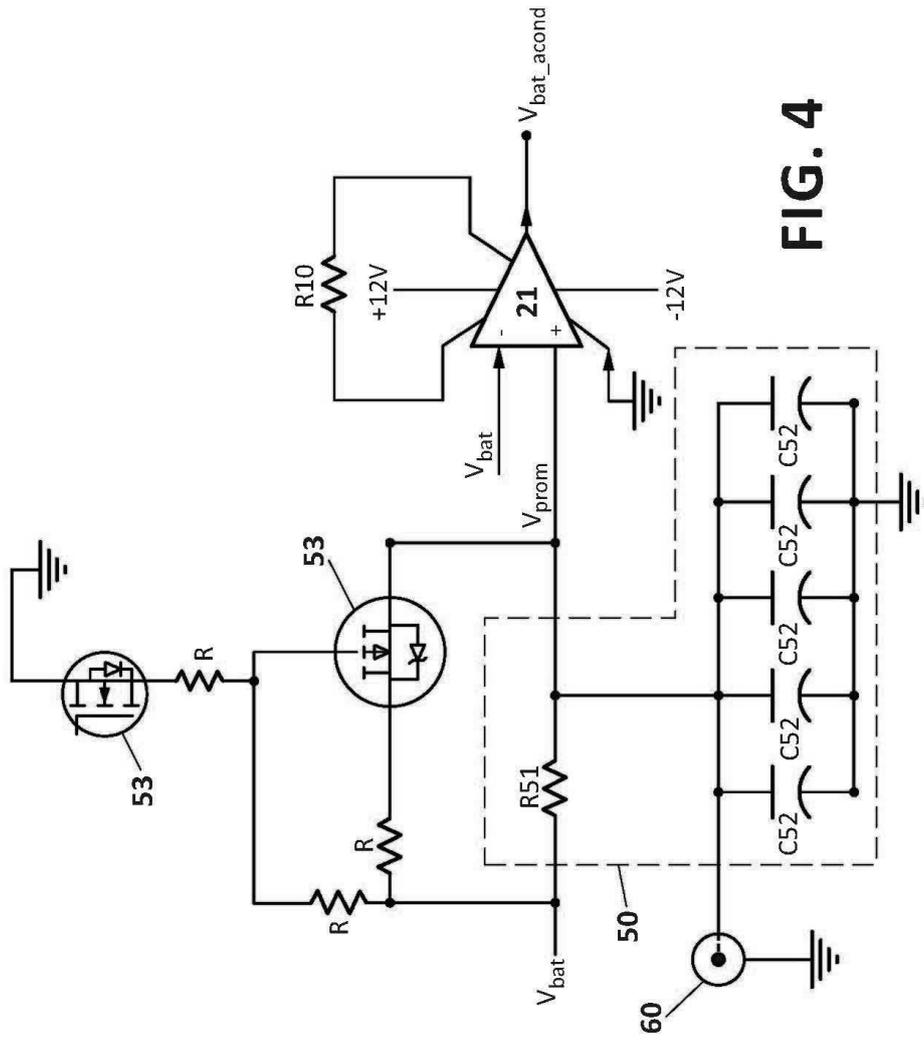


FIG. 4

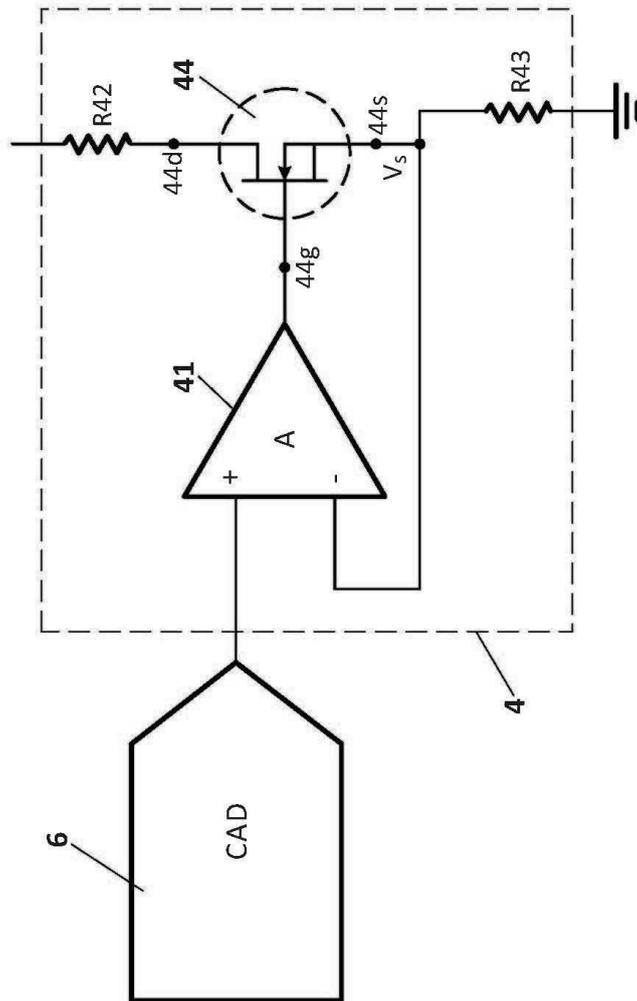


FIG. 5

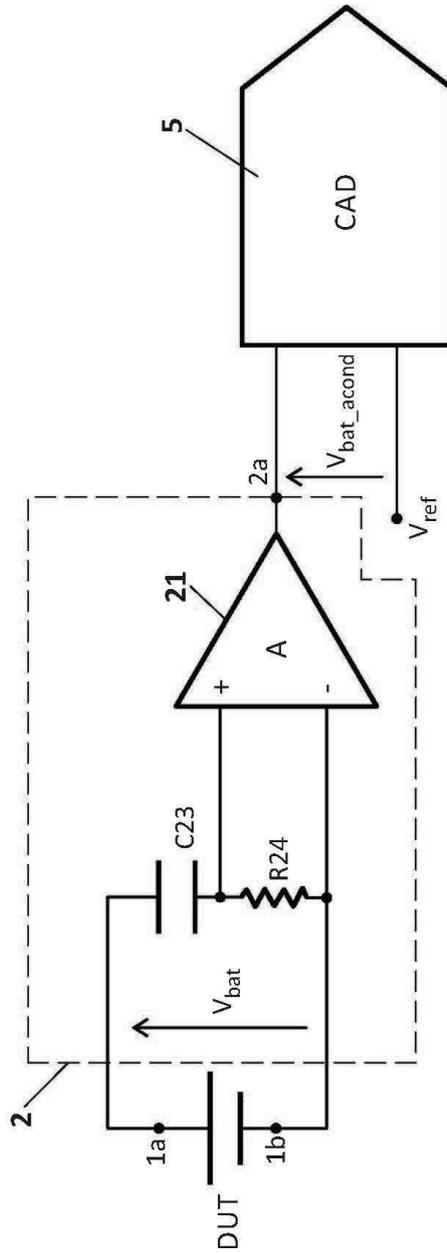


FIG. 6

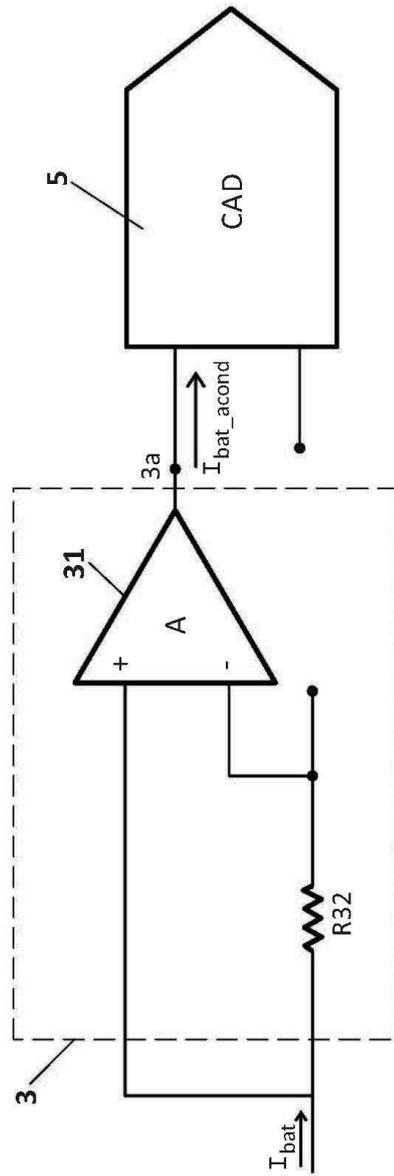


FIG. 7