

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 578**

51 Int. Cl.:

G01R 31/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2015 PCT/EP2015/065336**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16030065**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2015 E 15734174 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018 EP 3186650**

54 Título: **Procedimiento para determinar una resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica**

30 Prioridad:

27.08.2014 DE 102014217087

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

11.03.2019

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**VARADI, FERENC;
BARANY, GABOR y
STOLCZENBERGER, ROBERT**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 703 578 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

Procedimiento para determinar una resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica

Estado de la técnica

5 La resistencia interior de un acumulador de energía se puede determinar de diferentes maneras. En el ámbito de los vehículos normalmente se calcula la resistencia diferencial, la resistencia de fase nula o la resistencia óhmica y a partir de esto se determina la resistencia interior. Un procedimiento para determinar la resistencia interior mediante el cálculo de la resistencia diferencial se desvela en el documento WO 2006037694 A1.

Otros estados de la técnica se pueden consultar en los documentos EP1522866 y US2012303301.

Desvelación de la invención

10 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica. De acuerdo con la invención, la resistencia interior se determina calculando una resistencia de fase nula, que a su vez se proporciona como la resistencia interior que se quiere determinar. A este respecto, las siguientes etapas de procedimiento se efectúan consecutivamente:

15 a. Transformación analógico/digital de una señal de tensión analógica y de una señal de corriente analógica del acumulador de energía eléctrica, para obtener valores de tensión digitales y valores de corriente digitales;
b. Filtrar los valores de tensión digitales y los valores de corriente digitales con un filtro de paso de banda alrededor de la frecuencia de fase nula, para obtener valores de tensión y valores de corriente filtrados;
c. Comprobar si se cumplen las siguientes condiciones previas de cálculo:

20 I. El filtro de paso de banda se ha inicializado;
II. Se determina un valor pico de corriente con su correspondiente momento en el tiempo a partir de los valores de corriente filtrados;
III. La magnitud del valor pico de corriente es mayor que la magnitud de un valor de corriente de umbral, en lo que la magnitud del valor de corriente de umbral es mayor que la magnitud de un valor de corriente de umbral mínimo, con el que se puede calcular una resistencia de fase nula con una desviación máxima especificada
25 con respecto a la resistencia interior real;
IV. El valor de tensión filtrado en el momento previamente determinado es un valor pico de tensión;
V. El valor pico de corriente y el valor pico de tensión tienen el mismo signo;

30 en lo que estas condiciones previas de cálculo se comprueban consecutivamente aunque la condición previa de cálculo I también puede verificarse en cualquier otro punto en la etapa de procedimiento c, y en lo que el procedimiento se termina en caso de que no se cumpla una de las condiciones previas de cálculo;
d. Calcular la resistencia de fase nula a partir del valor pico de tensión y el valor pico de corriente, en caso de que el procedimiento no se haya terminado antes;
e. Proporcionar la resistencia de fase nula como la resistencia interior que se va a determinar del acumulador de energía eléctrica, en caso de que el procedimiento no se haya terminado antes.

35 A este respecto es ventajoso que incluso pequeñas variaciones de corriente o de tensión son suficientes como excitación para el acumulador de energía eléctrica con el fin de calcular la resistencia de fase nula y, por lo tanto, para determinar la resistencia interior del acumulador de energía eléctrica, tal como es el caso, por ejemplo, durante la marcha o con el motor apagado. Por lo tanto, una fuerte excitación del acumulador de energía eléctrica debido a un arranque del motor ya no es un requisito previo para poder determinar la resistencia interior. Esto es ventajoso en particular en vehículos eléctricos e híbridos, que no presentan un arranque del motor clásico. Además, el procedimiento solo requiere muy poco dispendio de cálculo en comparación con otros procedimientos para determinar la resistencia interior, tales como, por ejemplo, un procedimiento basado en el método espectral, en el que la resistencia interior se determina a través de una síntesis de Fourier discreta. El procedimiento además está optimizado para el uso en un sistema embebido, por ejemplo, en un sensor eléctrico de batería, y se puede usar para la determinación tanto activa como también pasiva de la resistencia interior. A este respecto, una determinación activa se refiere a la excitación del acumulador de energía eléctrica con una tensión alterna controlada con frecuencias específicas. La principal ventaja consiste en que la resistencia interior se puede calcular de manera continua e independiente de la tensión de red. Sin embargo, para la determinación activa se requiere un hardware complejo con electrónica de alto rendimiento y además somete la batería a un mayor esfuerzo. Una determinación pasiva, en cambio, se refiere a la excitación del acumulador de energía eléctrica por medio de una tensión de red de un generador de corriente trifásica o a través de un consumidor. Debido a esto, los requisitos de hardware son menores, ya que solo se requiere una medición de la corriente y de la tensión del acumulador de energía. Esto se puede realizar, por ejemplo, a través de una derivación o un sensor de reverberación. Sin embargo, debido a que con esta determinación pasiva la excitación del acumulador de energía no se controla directamente, la resistencia

interior no se actualiza en caso de que no se cumplan las condiciones previas de cálculo. Adicionalmente, a través de la modificación del valor de corriente de umbral se puede ajustar la exactitud de la determinación de la resistencia interior.

5 Una forma de realización ventajosa del procedimiento de acuerdo con la presente invención prevé que entre la etapa de procedimiento a y la etapa de procedimiento e se desarrolle una etapa de procedimiento adicional f, en la que se verifica la validez de los valores de tensión digitales y de los valores de corriente digitales. A este respecto, los valores de tensión digitales y los valores de corriente digitales se consideran como válidos, si se ha completado con éxito la etapa de procedimiento a. Con un valor de tensión digital o un valor de corriente digital inválido, en cambio, se termina el procedimiento. A este respecto es ventajoso que el procedimiento solo puede continuar con valores de medición válidos, es decir, libres de error. Debido a esto, por una parte se puede reducir el dispendio de cálculo en caso de valores de medición erróneos, y por otra parte se puede prevenir que se proporcione una resistencia de fase nula errónea como resistencia interior.

15 Otra forma de realización ventajosa del procedimiento de acuerdo con la presente invención prevé que el valor pico de corriente o también el valor pico de tensión se determinen a través de un principio de First In – First Out (“primero en entrar - primero en salir”) (FIFO), en particular de tres elementos. A este respecto es ventajoso que el principio FIFO representa un medio simple para determinar un valor pico entre varios valores. Con esto se reduce la potencia de cálculo requerida para esta etapa de procedimiento.

20 En una forma de realización ventajosa del procedimiento de acuerdo con la presente invención está previsto que entre la etapa de procedimiento d y la etapa de procedimiento e se ejecute una etapa de procedimiento adicional g, en la que se comprueba la plausibilidad de la resistencia de fase nula. A este respecto, la resistencia de fase nula se considera como plausible si se ubica entre un valor límite mínimo teórico y un valor límite máximo teórico de la resistencia interior que cabe esperar. Si esto no es el caso, el procedimiento se termina. A este respecto es ventajoso que la resistencia de fase nula calculada solo se proporciona en la etapa de procedimiento e como resistencia interior si la misma ha sido clasificada como plausible. Con esto se puede prevenir que se proporcione una resistencia de fase nula errónea como resistencia interior.

25 En otra forma de realización ventajosa adicional del procedimiento de acuerdo con la presente invención, está previsto que el cálculo de la resistencia de fase nula en la etapa de procedimiento d se efectúe mediante la formación de un cociente a partir del valor pico de tensión y el valor pico de corriente. A este respecto es ventajoso que esto representa una posibilidad simple para calcular la resistencia de fase nula y por ende solo requiere una reducida capacidad de cálculo.

30 Una forma de realización ventajosa del procedimiento de acuerdo con la presente invención prevé que entre la etapa de procedimiento d y la etapa de procedimiento e se desarrolle una etapa de procedimiento adicional h, en el que la resistencia de fase nula calculada se somete a un filtrado de paso bajo, en particular por medio de un miembro PT1. A este respecto es ventajoso que mediante el filtrado se puede reducir la desviación estándar, que se presenta, por ejemplo, a causa de ruidos de medición.

35 Otra forma de realización ventajosa adicional del procedimiento de acuerdo con la presente invención prevé que el cálculo de la resistencia de fase nula en la etapa de procedimiento d se efectúe mediante la formación de un cociente del promedio cuadrático de los valores pico de tensión con respecto al promedio cuadrático de los valores pico de corriente. A este respecto es ventajoso que la exactitud en el cálculo de la resistencia de fase nula se aumenta adicionalmente por esta forma de cálculo.

Dibujos

La Fig. 1 muestra un primer ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica.

45 La Fig. 2 muestra un segundo ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica.

La Fig. 3 muestra un tercer ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica.

La Fig. 4 muestra un cuarto ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica.

50 La Fig. 1 muestra un primer ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica. El procedimiento comienza con el arranque S. En primer lugar, en una etapa de procedimiento a, una señal de tensión analógica U_{analog} y una señal de corriente

analogica I_{analog} del acumulador de energía eléctrica se transforman en valores de tensión digitales U y valores de corriente digitales I . Esta transformación analógico/digital se efectúa en la etapa de procedimiento a mediante una primera etapa parcial a1 y una segunda etapa parcial a2. En la primera etapa parcial a1, la señal de tensión analógica U_{analog} y la señal de corriente analógica I_{analog} se someten a un filtrado de paso bajo, lo que se efectúa, por ejemplo, por medio de un filtro de paso bajo analógico. Después, en la segunda etapa parcial a2, la señal de tensión analógica U_{analog} sometida al filtrado de paso bajo y la señal de corriente analógica I_{analog} sometida al filtrado de paso bajo se exploran para obtener valores de tensión digitales U y valores de corriente digitales I . A este respecto, la exploración para la señal de tensión analógica U_{analog} y la señal de corriente analógica I_{analog} se efectúa de manera sincrónica, bajo la condición de que una frecuencia de exploración f_{rast} sea por lo menos el doble de grande que una frecuencia de fase nula máxima $f_{zp, max}$. A este respecto, el filtrado de paso bajo sirve para que la anchura de banda de la señal que se va a explorar corresponda a la velocidad de exploración. Adicionalmente, mediante la condición previa para la frecuencia de exploración f_{rast} se cumple el teorema de exploración de Nyquist-Shannon. Los valores de tensión digitales U y los valores de corriente digitales I se filtran en una etapa de procedimiento posterior b. A este respecto, el filtrado se efectúa por medio de un filtro de paso de banda, que filtra alrededor de una frecuencia de fase nula f_{zp} . En esta frecuencia de fase nula f_{zp} , el ángulo de impedancia es de aproximadamente 0. La frecuencia de fase nula f_{zp} depende, por ejemplo, del tipo de acumulador de energía, la temperatura y el estado de carga. En baterías de plomo, la frecuencia de fase nula f_{zp} normalmente se ubica entre 300 Hz y 1 kHz. Por medio del filtrado de paso de banda se obtienen valores de tensión filtrados U_{filt} y valores de corriente filtrados I_{filt} . En una etapa de procedimiento adicional c, luego se comprueban consecutivamente varias condiciones previas de cálculo. Si tan solo una de estas condiciones previas de cálculo no se cumple, el procedimiento se termina prematuramente. A este respecto, la terminación se representa como final E. Normalmente, el procedimiento vuelve a comenzar con el arranque S después de haber sido terminado. En base a la condición previa de cálculo I, se verifica si el filtro de paso de banda está inicializado. Así, por ejemplo, en un filtro de paso de banda de enésimo orden, el filtro de paso de banda solo se inicializa después de n valores explorados, en lo que n representa un número natural, mayor que cero. Mediante la condición previa de cálculo II se comprueba si se puede determinar un valor pico de corriente I_p a partir de los valores de corriente filtrados I_{filt} . El valor pico de corriente I_p se determina, por ejemplo, por medio de un principio de FIFO, en particular de tres elementos. A este respecto, los valores de corriente explorados por último y posteriormente filtrados I_{filt} se comparan entre sí. Si en esto se puede determinar uno de los valores de corriente filtrados I_{filt} como valor pico de corriente I_p , la aparición cronológica del valor pico de corriente I_p se define como punto de tiempo t_p . Si en cambio no se determina ningún valor pico de corriente I_p , en el próximo ciclo del procedimiento se sustituye por lo menos un valor de corriente filtrado más antiguo I_{filt} por lo menos por un nuevo valor de corriente filtrado I_{filt} y se trata de determinar un valor pico de corriente I_p en base a los valores existentes y nuevos. Como tercera condición previa de cálculo III, se verifica si la magnitud del valor pico de corriente I_p es mayor que la magnitud de un valor de corriente umbral I_{th} . En esto, el valor de corriente de umbral I_{th} se puede modificar de un ciclo de procedimiento al otro, bajo la condición de que su valor siempre sea mayor que el valor de un valor de corriente de umbral mínimo $I_{th, min}$, con el que la resistencia de fase nula R_{zp} todavía pueda calcularse con una desviación máxima especificada de la resistencia interior real R_i del acumulador de energía eléctrica. Así, por ejemplo, la desviación máxima entre la resistencia interior R_i determinada por medio de un sensor de batería y un valor real efectivo de la resistencia interior R_i no debería ser mayor del 10%. Mediante la modificación del valor de corriente de umbral I_{th} se puede ajustar la exactitud del cálculo de la resistencia de fase nula R_{zp} a costas de la frecuencia de su cálculo. Para esto rige que cuanto mayor sea la corriente de umbral I_{th} , tanto más exacto será el valor de la resistencia de fase nula calculada R_{zp} , y por ende también de la resistencia interior R_i suministrada, y tanto menor será, sin embargo, la frecuencia del cálculo de la resistencia de fase nula en sí. Después se comprueba por medio de la condición previa de cálculo IV si el valor de tensión filtrado U_{filt} para el momento t_p es un valor pico de tensión U_p . Esto nuevamente se efectúa en base a un principio de FIFO. Por último, mediante la condición previa de cálculo V se verifica si el valor pico de corriente I_p y el valor pico de tensión U_p tienen el mismo signo. A través de las condiciones previas de cálculo y el filtrado de paso de banda se logra que tanto el valor pico de corriente I_p como también el valor pico de tensión U_p estén formados principalmente por una porción real y, por lo tanto, no presenten ninguna o solo una muy pequeña porción imaginaria. Esto significa que el ángulo de fase de la señal analógica de corriente y de tensión explorada sea o bien de aproximadamente 0° o de aproximadamente 180° . Con esto, en una etapa de procedimiento siguiente d se puede calcular una resistencia de fase nula R_{zp} como medida para la resistencia interior R_i . El cálculo de la resistencia de fase nula R_{zp} se efectúa dividiendo el valor pico de tensión U_p entre el valor pico de corriente I_p . A continuación, en la etapa de procedimiento e, la resistencia de fase nula calculada R_{zp} se proporciona como la resistencia interior que se quiere determinar y por último se termina el procedimiento. Después del final E, como se ha mencionado previamente, el procedimiento normalmente vuelve a arrancar. Esto se repite hasta que la resistencia interior R_i ya no tenga que ser determinada. Además, en el caso normal, varios de estos procedimientos se desarrollan de manera cronológicamente diferida. Así, por ejemplo, la señal de tensión analógica U_{analog} y la señal de corriente analógica I_{analog} se exploran durante un determinado período de tiempo y en base a esto en el ulterior desarrollo del procedimiento se trata de determinar la resistencia interior R_i del acumulador de energía, procesando los valores adicionalmente conforme a lo indicado. Durante este procesamiento adicional, sin embargo, el procedimiento vuelve a arrancar para continuar explorando la señal de tensión analógica U_{analog} y la señal de corriente analógica I_{analog} y determinar nuevamente la resistencia interior R_i en base a esto.

La Fig. 2 muestra un segundo ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica. A este respecto, el procedimiento se

desarrolla de manera idéntica al procedimiento de acuerdo con la Fig. 1. Sin embargo, entre la etapa de procedimiento a y la etapa de procedimiento b se efectúa una etapa de procedimiento opcional f, en la que se verifica si la transformación analógico/digital en la etapa de procedimiento a se ha efectuado con éxito. Si esto no es el caso, los valores de tensión digitales U y los valores de corriente digitales I se consideran como inválidos y el procedimiento se termina. Las causas posibles de una transformación A/D errónea son, por ejemplo, la aparición de señales de interferencia o una nueva configuración del convertidor A/D. Llevada a la práctica, la comprobación de plausibilidad puede prevenir esto, por ejemplo, debido a que los valores de tensión digitales U y los valores de corriente digitales I en la transformación A/D reciben un registro de estado binario adicional, que indica si la transformación A/D fue exitosa. Después, en la etapa de procedimiento f ya solo se tiene que comprobar si se ha fijado o no el registro de estado del respectivo valor.

En un ejemplo de realización alternativo, no representado en los dibujos, se efectúa la etapa de procedimiento f después de la etapa de procedimiento b, pero por lo menos antes de la etapa de procedimiento e. En otro ejemplo de realización adicional, no representado en los dibujos, si el procedimiento se termina debido a valor de corriente digital I inválido, o también debido a valor de tensión digital U inválido, se inicializan el transformador A/D y el filtro de paso bajo, antes de que el procedimiento arranque la próxima vez.

La Fig. 3 muestra un tercer ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica. El ejemplo de realización, partiendo del procedimiento de acuerdo con la Fig. 2, presenta otra etapa de procedimiento opcional g. Esta etapa de procedimiento g se efectúa entre la etapa de procedimiento d y la etapa de procedimiento e. En la etapa de procedimiento g se comprueba si la resistencia de fase nula calculada R_{zp} se ubica entre un valor límite mínimo teórico $R_{i, \min}$ y un valor límite máximo teórico $R_{i, \max}$. Si esto no es el caso, el procedimiento también se determina prematuramente. Para baterías de plomo, por ejemplo, el valor límite mínimo teórico $R_{i, \min}$ se ubica en alrededor de 2 mΩ y el valor límite máximo teórico $R_{i, \max}$ se ubica en alrededor de 50 mΩ.

En un ejemplo de realización alternativo, no representado, el procedimiento se desarrolla de manera idéntica a uno de los ejemplos de realización mostrados en las figuras 1, 2 o 3. Tan solo en la etapa de procedimiento d, este ejemplo de realización alternativo difiere de los demás. Así, en este caso la resistencia de fase nula R_{zp} se calcula en la etapa de procedimiento d, dividiendo la media cuadrática de los valores pico de tensión U_p entre la media cuadrática de los valores pico de corriente I_p .

La Fig. 4 muestra un cuarto ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención para determinar la resistencia interior de un acumulador de energía eléctrica. Partiendo del procedimiento de acuerdo con la Fig. 3, este procedimiento presenta otra etapa de procedimiento opcional adicional h. La etapa de procedimiento h se efectúa después de la etapa de procedimiento d, pero antes de la etapa de procedimiento e. Aunque solo para el caso de que la resistencia de fase nula R_{zp} en la etapa de procedimiento d se haya calculado en base al valor pico de tensión U_p y el valor pico de corriente I_p . En la etapa de procedimiento h, la resistencia de fase nula calculada R_{zp} se somete a un filtrado de paso bajo, lo que funciona, por ejemplo, por medio de un miembro PT1.

En otros ejemplos de realización alternativos, no representados en los dibujos, las etapas de procedimiento opcionales f, g y h también pueden desarrollarse independientemente entre sí en un procedimiento. Así, por ejemplo, es posible que partiendo del procedimiento de acuerdo con la Fig. 1 solo la etapa de procedimiento g se desarrolle entre las etapas de procedimiento d y la etapa de procedimiento e, mientras que las etapas de procedimiento f y h no se efectúan.

En los ejemplos de realización arriba mencionados, se determina la resistencia interior R_i calculando el valor de resistencia de fase nula R_{zp} . En base al valor de resistencia de fase nula calculado R_{zp} , sin embargo, también se pueden determinar por aproximación otras definiciones de resistencia, tales como, por ejemplo, una resistencia diferencial, una resistencia de 1 kHz o una resistencia óhmica. Esto se debe a que las desviaciones entre todas estas definiciones de resistencia están limitadas en cierta medida. Por lo tanto, por ejemplo, en base al valor de resistencia de fase nula calculado R_{zp} también se puede determinar la resistencia diferencial con una cierta tolerancia.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar una resistencia interior (R_i) de un acumulador de energía eléctrica con las siguientes etapas que se desarrollan consecutivamente:

5 a. Transformación analógico/digital de una señal de tensión analógica (U_{analog}) y de una señal de corriente analógica (I_{analog}) del acumulador de energía eléctrica, para obtener valores de tensión digitales (U) y valores de corriente digitales (I),

b. Filtrar los valores de tensión digitales (U) y los valores de corriente digitales (I) con un filtro de paso de banda alrededor de la frecuencia de fase nula (f_{zp}), para obtener valores de tensión (U_{filt}) y valores de corriente (I_{filt}) filtrados;

10 c. Comprobar si se cumplen las siguientes condiciones previas de cálculo:

I. El filtro de paso de banda se ha inicializado;

II. Se determina un valor pico de corriente (I_p) con su correspondiente momento en el tiempo (t_p) a partir de los valores de corriente filtrados (I_{filt});

15 III. La magnitud del valor pico de corriente (I_p) es mayor que la magnitud de un valor de corriente de umbral (I_{th}), en lo que la magnitud del valor de corriente de umbral (I_{th}) es mayor que la magnitud de un valor de corriente de umbral mínimo ($I_{th, min}$), con el que se puede calcular una resistencia de fase nula (R_{zp}) con una desviación máxima especificada con respecto a la resistencia interior real (R_i);

IV. El valor de tensión filtrado (U_{filt}) en el momento previamente determinado (t_p) es un valor pico de tensión (U_p);

20 V. El valor pico de corriente (I_p) y el valor pico de tensión (U_p) tienen el mismo signo;

en lo que estas condiciones previas de cálculo se comprueban consecutivamente aunque la condición previa de cálculo I también puede verificarse en cualquier otro punto en la etapa de procedimiento c, y en lo que el procedimiento se termina en caso de que no se cumpla una de las condiciones previas de cálculo;

25 d. Calcular la resistencia de fase nula (R_{zp}) a partir del valor pico de tensión (U_p) y el valor pico de corriente (I_p), en caso de que el procedimiento no se haya terminado antes;

e. Proporcionar la resistencia de fase nula (R_{zp}) como la resistencia interior (R_i) que se va a determinar del acumulador de energía eléctrica, en caso de que el procedimiento no se haya terminado antes.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** una etapa de procedimiento adicional:

30 f. Comprobar la validez de los valores de tensión digitales (U) y de los valores de corriente digitales (I), en lo que los valores de tensión digitales (U) y los valores de corriente digitales (I) se consideran como válidos, si la etapa de procedimiento a se ha efectuado con éxito, y terminación del procedimiento en caso de un valor de tensión digital (U) inválido o de un valor de corriente digital (I) inválido,

en lo que la etapa de procedimiento f se desarrolla después de la etapa de procedimiento a y antes de la etapa de procedimiento e.

35 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el valor pico de corriente (I_p) y/o el valor pico de tensión (U_p) se determinan por medio de un principio de FIFO, en particular de tres elementos.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** una etapa de procedimiento adicional:

40 g. Comprobar la plausibilidad del valor de resistencia de fase nula calculado (R_{zp}), en lo que éste se considera como plausible si se ubica entre un valor límite mínimo teórico ($R_{i, min}$) y un valor límite máximo teórico ($R_{i, max}$), y terminar el procedimiento en caso de un valor de resistencia de fase nula (R_{zp}) no plausible,

en lo que la etapa de procedimiento g se desarrolla entre la etapa de procedimiento d y la etapa de procedimiento e.

45 5. procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el cálculo del valor de resistencia de fase nula (R_{zp}) en la etapa de procedimiento d se efectúa mediante la formación de un cociente del valor pico de tensión (U_p) y el valor pico de corriente (I_p).

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por una etapa de procedimiento adicional:

h. Filtrado de paso bajo del valor de resistencia de fase nula calculado (R_{zp}), en particular por medio de un miembro PT1,

en lo que la etapa de procedimiento h se desarrolla entre la etapa de procedimiento d y la etapa de procedimiento e.

- 5 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el cálculo de la resistencia de fase nula (R_{zp}) en la etapa de procedimiento d se efectúa mediante la formación de un cociente en base a una media cuadrática de los valores pico de tensión (U_p) y una media cuadrática de los valores pico de corriente (I_p).

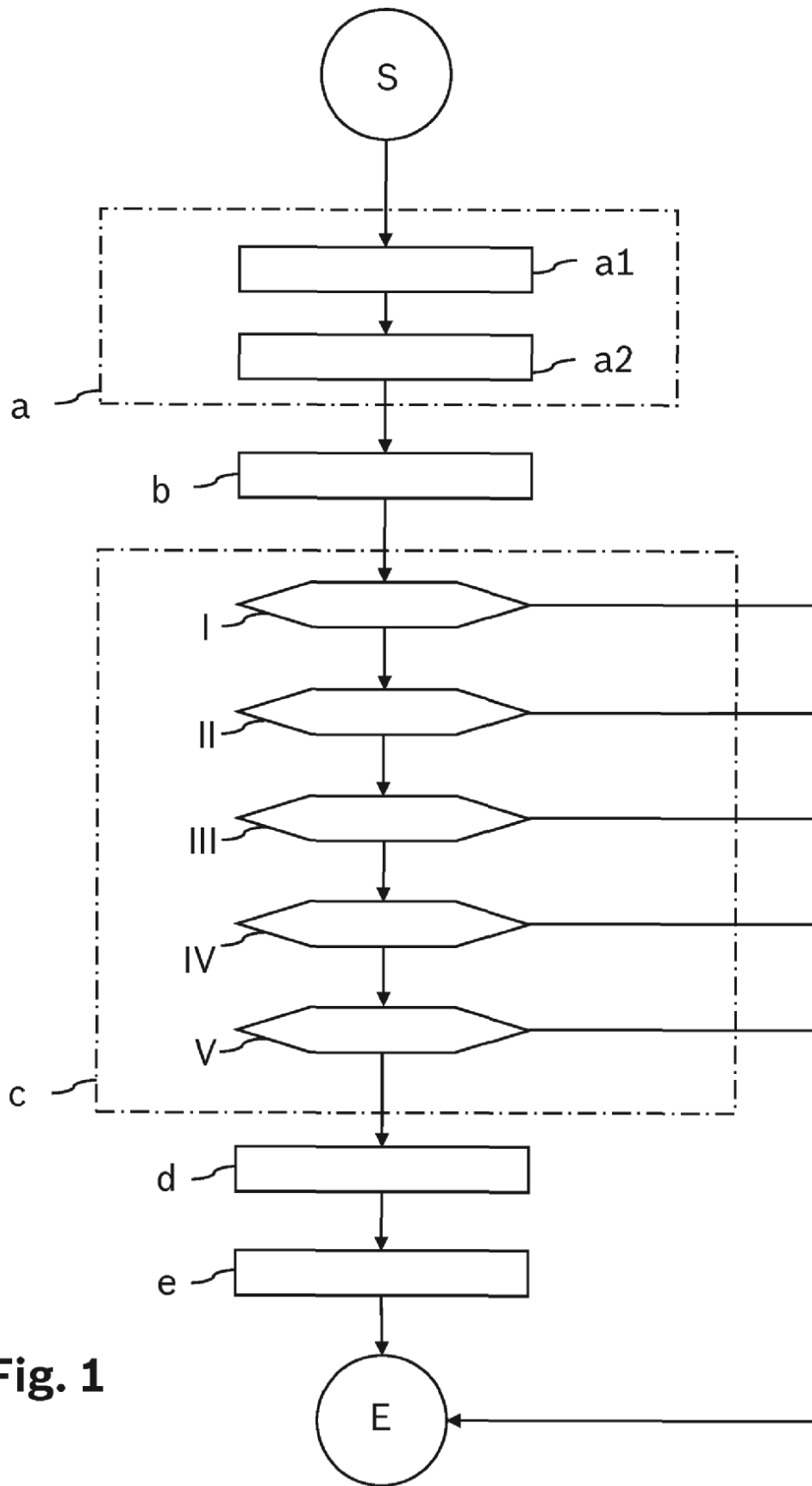


Fig. 1

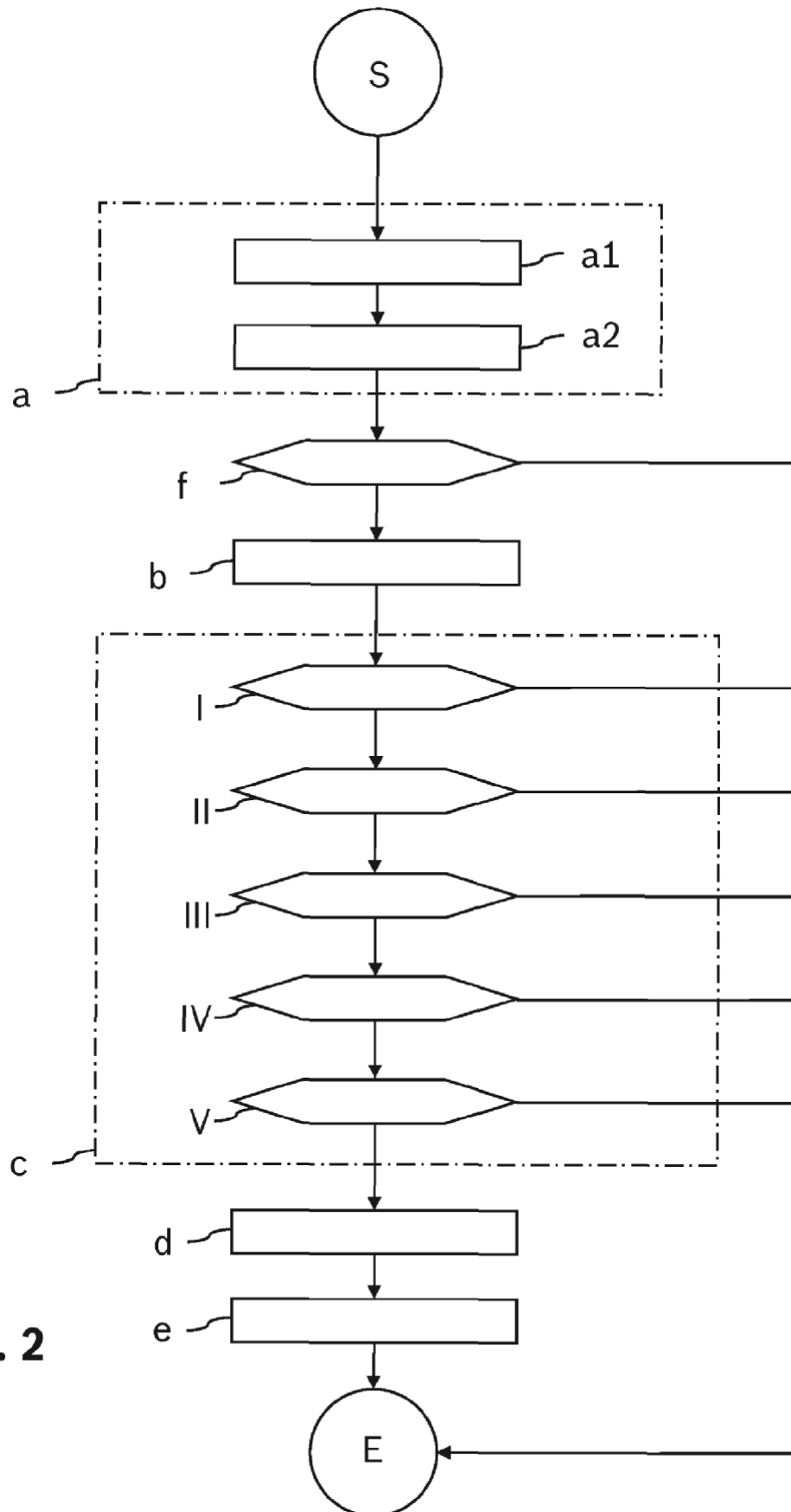


Fig. 2

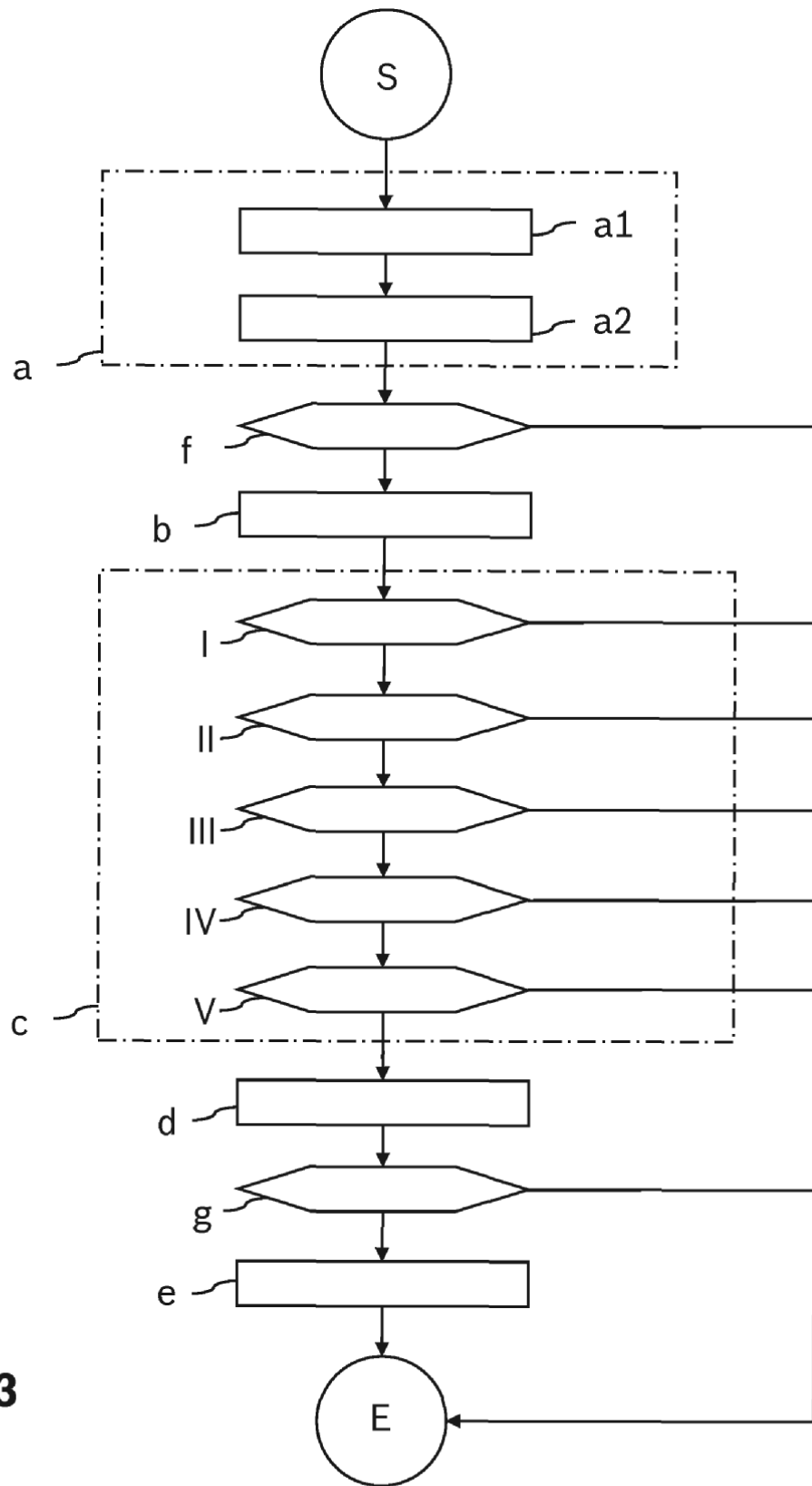


Fig. 3

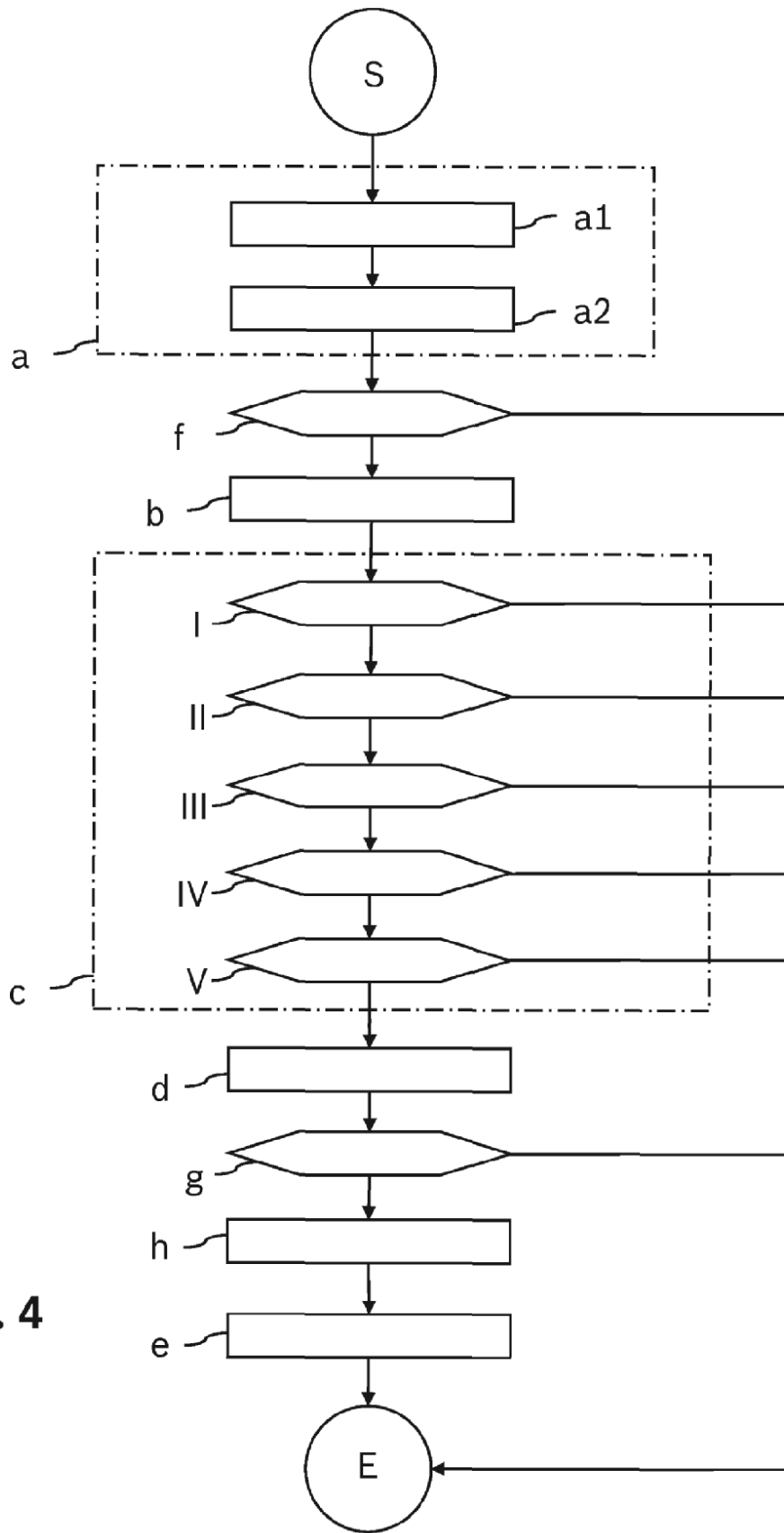


Fig. 4