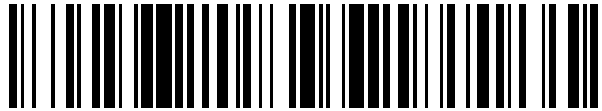


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 976**

21 Número de solicitud: 201431337

51 Int. Cl.:

**B60L 11/18** (2006.01)

**H02J 7/02** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**15.09.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**18.04.2016**

Fecha de la concesión:

**24.01.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**31.01.2017**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2015/070650**

73 Titular/es:

**INSTALACIONES INABENSA, S.A. (100.0%)**

**C/ Energía Solar, 1**

**41014 SEVILLA (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**TREVIÑO CABRERA, Alicia;**

**AGUADO SANCHEZ, José Antonio;**

**GOMEZ LEON, Daniel y**

**GARCIA MARQUEZ, Manuel Joaquín**

74 Agente/Representante:

**IGARTUA IRIZAR, Ismael**

54 Título: **Sistema y método para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos**

57 Resumen:

Sistema y método para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos, comprendiendo el sistema un primario (100) con un convertidor de potencia (103), un controlador y un bobinado primario (101), un secundario (200) con un bobinado secundario (201) conectado a una batería (3), y un detector que está adaptado para detectar una magnitud eléctrica a la salida del convertidor de potencia (103) y que está comunicado con el controlador. El controlador está configurado para estimar dinámicamente el estado de carga de la batería (3) en función de la magnitud eléctrica medida y para actuar sobre el convertidor de potencia (103), en función del estado de carga estimado para ajustar la potencia de carga transmitida inalámbricamente desde el primario (100) al secundario (200) y optimizar así la corriente de carga de la batería (3).

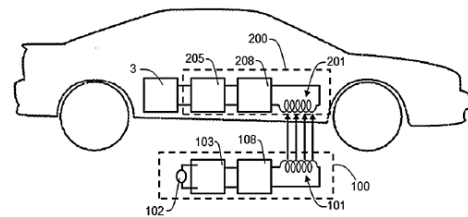


FIG. 1

ES 2 566 976 B1

## DESCRIPCIÓN

Sistema y método para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos

5

### SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con sistemas para la recarga de baterías de vehículos eléctricos, y más concretamente con sistemas para la recarga inductiva de baterías de  
10 vehículos eléctricos.

### ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

15 Los vehículos eléctricos usan una batería para almacenar energía y proporcionar potencia al motor. Para el correcto funcionamiento de la batería, la energía que almacena debe encontrarse dentro de un rango con respecto a ciertos parámetros eléctricos, térmicos, etc. Para recargar una batería se aplica una corriente de carga sobre la misma. Esta recarga se puede hacer sin control, pero en el caso de baterías de vehículos, que son de alta potencia y  
20 coste elevado, no es lo más aconsejable para la vida útil de la misma y para la eficiencia energética durante la recarga de la misma.

Los cargadores de baterías, que son los principales dispositivos que proporcionan energía a la batería, deben tener en cuenta el estado de la misma con respecto a los parámetros  
25 anteriormente nombrados a la hora de ajustar la potencia que entregan para recargar la batería. Para esta adaptación, los cargadores se equipan de un sistema de control mediante el cual se varía el funcionamiento de algunos dispositivos del propio cargador y así poder proporcionar la potencia adecuada al estado de la batería.

30 Cuando por ejemplo una batería se encuentra descargada es capaz de absorber una corriente casi infinita por lo que es necesario que se controle la corriente que se vierte a ella. Esta función se lleva a cabo a través de los cargadores ya que éstos son capaces de limitar la corriente de entrada a la batería.

Existen fundamentalmente dos modos de carga de batería: a corriente constante y a tensión constante. Cuando las baterías están descargadas tienen una primera fase de carga a corriente constante, en la que va incrementándose progresivamente la tensión entre los terminales de la batería. Una vez que la batería ya está cerca de su tensión final de carga, se produce un proceso de carga a tensión constante, donde la corriente que se inyecta a la batería empieza a disminuir progresivamente hasta anularse.

Algunos cargadores conocidos son los cargadores inalámbricos o inductivos, también conocidos como sistemas ICPT (*“Inductively-Coupled Power Transfer”*) o WPT (*“Wireless Power Transfer”*). Estos sistemas se basan en el uso de dos bobinas acopladas magnéticamente, estando una primera bobina dispuesta en un primario del sistema y una segunda bobina en un secundario de dicho sistema. A efectos prácticos, estas dos bobinas se pueden asemejar a un transformador cuyo entrehierro está formado por aire. Una de ellas (el primario) se encuentra instalada fuera del vehículo mientras que la otra (el secundario) se sitúa en el vehículo eléctrico. El principio de funcionamiento es simple: cuando se inyecta una intensidad de corriente alterna al primario, se genera un campo magnético que al atravesar la bobina secundaria induce una tensión en ésta. La potencia inducida es la responsable de recargar la batería, que se encuentra en el vehículo y conectada a la bobina secundaria.

El campo magnético inducido en la bobina secundaria depende de factores geométricos, como el número de espiras, el tamaño y la forma de la bobina y separación entre ellas, y de factores eléctricos, como la frecuencia, entre otros. Con el propósito de emplear bobinas de un tamaño adecuado (menor número de espiras posible), así como para mejorar el proceso de transferencia de energía entre primario y secundario, el funcionamiento de las bobinas se realiza preferentemente a una frecuencia en el rango de VLF (*“Very Large Frequency”*). A su vez, se añaden elementos reactivos (condensadores) a las bobinas que mejoran la eficiencia y la transferencia de potencia. Dependiendo del número de elementos reactivos que se añaden a cada bobina así como de la topología de los mismos, se obtienen distintos tipos de sistemas de compensación.

En el documento US20140084858A1 se divulga un sistema para la recarga inalámbrica de

baterías de vehículos, que comprende un detector para medir el valor de la corriente en el primario, una unidad de comunicación configurada para recibir el valor de la corriente de carga de la batería, y un controlador configurado para controlar la potencia a suministrar por el primario para recargar la batería en función del valor de la corriente medida y del valor de la corriente de carga recibida, para mejorar la eficiencia de la recarga.

El documento US20130314043A1 divulga un sistema para la recarga de baterías de vehículos en el que también se controla la potencia de carga a transmitir desde el primario para recargar una batería presente o conectada al secundario, en base al estado de carga de la batería. El sistema comprende una memoria en el primario donde se almacena el algoritmo de carga a emplear para la batería en cuestión, de tal manera que desde el primario se transmite la potencia al secundario en función de dicho algoritmo. El algoritmo puede tener en cuenta la tensión de la batería, y esta información llega al primario desde el secundario mediante una comunicación de datos inalámbrica.

15

## EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es un sistema para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos, tal y como se describe a continuación.

20

El sistema comprende un primario con al menos un convertidor de potencia, un controlador para actuar sobre el convertidor de potencia y un bobinado primario para transmitir la potencia inalámbricamente, y un secundario con un bobinado secundario para recibir la potencia inalámbricamente desde el bobinado primario del sistema que está conectada a una batería para recargarla con la potencia transmitida inalámbricamente desde el primario.

25

El sistema comprende además, en el primario, al menos un detector que detecta dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia y que está comunicado con el controlador de dicho primario, estando el controlador configurado para estimar dinámicamente el estado de carga de la batería en función de dicha magnitud eléctrica y para ajustar la potencia transmitida por el primario al secundario y optimizar así la corriente de carga de la batería durante la recarga de la misma, actuando

30

sobre el convertidor de potencia en función de dicho estado de carga estimado.

De esta manera se obtiene un sistema para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos que se adapta a las condiciones de la batería de manera dinámica para optimizar el proceso de recarga de la batería y aumentar así la vida útil de la misma, sin necesidad de emplear ninguna comunicación de datos entre el primario (origen de la potencia de carga) y el secundario (unido a la batería), lo que simplifica y facilita el sistema al no necesitar filtros y/o aisladores necesarios en el caso de incluir una comunicación de datos entre ambas partes (fototransistores o fotodiodos por ejemplo) ni tampoco elementos de comunicación (receptores y emisores por ejemplo), y el propio vehículo, que no requiere incluir elementos específicos para la recarga de su(s) batería(s). Esta simplificación puede conllevar un menor coste para el sistema y/o para el vehículo, además de un menor tamaño (en el caso del coche el menor tamaño sería en lo relativo a las necesidades de recarga de la batería). Además, al realizarse la estimación del estado de carga de la batería y el control de la potencia de carga desde el primario, el secundario tiene un papel pasivo en el proceso de recarga, y además de las ventajas anteriormente mencionadas se obtiene un sistema más versátil, puesto que al no requerir comunicación de datos alguna entre el primario y el secundario se prescinde de protocolos de comunicación que pueden variar de unos fabricantes de vehículos a otros, pudiendo así emplearse en vehículos de fabricantes diferentes.

Otro objeto de la invención se refiere a un método de recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos mediante un sistema adaptado para la recarga inductiva de baterías. En el método se detectan dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia del sistema, se estima dinámicamente el estado de carga de la batería en función de dichas magnitudes eléctricas, y se optimiza la corriente de carga de la batería ajustando la potencia transmitida por el primario al secundario durante la recarga de dicha batería, actuando sobre el convertidor de potencia en función de dicho estado de carga estimado. Las ventajas obtenidas son análogas a las comentadas anteriormente para el sistema de la invención.

Estas y otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5 La figura 1 muestra una vista esquemática de una realización del sistema de la invención, dispuesto fuera de un vehículo eléctrico y en un vehículo.

La figura 2 es una representación esquemática a modo de bloques del primario y del secundario del sistema de la figura 1.

10

La figura 3 muestra la captura de pantalla de un osciloscopio donde se muestra la tensión de salida de un convertidor de potencia del primario de un sistema con la configuración de la figura 1, con un control sobre dicho convertidor de potencia actuando sobre los tiempos de conmutación de los conmutadores que lo conforman.

15

La figura 4 muestra el circuito eléctrico de la representación esquemática de la figura 2.

## EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20

Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos, que puede emplearse tanto para la recarga de forma estática (con el vehículo parado) como para la recarga de forma dinámica (con el vehículo en movimiento) y que se representa esquemáticamente y a modo de ejemplo en la figura 1.

25

Con referencia a la figura 2, el sistema comprende un primario 100 con al menos una fuente de alimentación 102 alterna, un convertidor de potencia 103, un controlador 104 para actuar sobre el convertidor de potencia 103, y un bobinado primario 101; y un secundario 200 con al menos un bobinado secundario 201 que recibe inalámbricamente la potencia eléctrica transmitida desde el primario 100 debido al acoplamiento magnético entre ambos bobinados 101 y 201 y que está conectada a una batería 3 para recargarla (la batería del vehículo). El bobinado secundario 201 está conectado a la batería 3 (preferentemente a través de un convertidor de potencia 205), de tal manera que dicha batería 3 se recarga con la potencia

30

recibida por dicho bobinado secundario 201. El primario 100 se encuentra fuera del vehículo eléctrico (preferentemente bajo el pavimento) mientras que el secundario 200 está dispuesto en el vehículo eléctrico, tal y como se representa en la figura 1.

5 La fuente de alimentación 102 genera una tensión alterna a una frecuencia determinada, y puede ser por ejemplo una conexión a la red general, siendo así la tensión alterna de 230 V eficaces y la frecuencia de 50 Hz. El convertidor de potencia 103, con la ayuda del controlador 104, controla qué parte de la tensión alterna generada por la fuente de alimentación 102 llega hasta el bobinado primario 101, controlándose así la potencia que se  
10 transmite al bobinado secundario 201 desde el bobinado primario 101 y controlándose así la potencia de carga de la batería 3 (en concreto la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3).

El sistema comprende además unos medios de detección en el primario 100, que detectan dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia  
15 103 de dicho primario 100 y que están comunicados con el controlador 104 de dicho primario 100, de tal manera que el controlador 104 recibe de forma dinámica dichas magnitudes. El controlador 104 está configurado para estimar dinámicamente el estado de carga de la batería 3 en función de las magnitudes eléctricas medidas en el primario 100 con los medios de detección como únicas variables, de tal manera que el controlador 104  
20 emplea dichas magnitudes para actuar sobre el convertidor de potencia 103 y controlar así la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  de dicho convertidor de potencia 103 y optimizar así la potencia de carga de la batería 3, al poder relacionar dicho parámetro con el estado de carga de la batería 3. La corriente de carga  $I_L$  que se aplica sobre la batería 3 para recargarla depende de la potencia de carga (de la potencia que recibe el secundario  
25 200, y por tanto de la potencia que se transmite desde el primario 100 que depende a su vez de la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  del convertidor de potencia 103), y con un control de la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  en función del estado de carga de la batería 3 es posible ajustar la potencia de carga para recargar la batería 3 de una manera óptima.

30 De esta manera, el sistema de la invención proporciona una recarga óptima de baterías de vehículos eléctricos, teniendo en cuenta el estado de la batería en cada momento, sin necesidad de emplear ninguna comunicación de datos entre el primario 100 e interviniendo

en el control únicamente el primario 100, de tal manera que el secundario 200 es pasivo en cuanto al control de la recarga.

El convertidor de potencia 103 es un convertidor de potencia AC-DC-AC, y comprende una pluralidad de conmutadores controlables no representados en la figuras, preferentemente IGBTs (“*Insulated Gate Bipolar Transistor*”), cuya secuencia de apertura y cierre (tiempos de conmutación) determina la tensión de salida  $V_1$  del convertidor de potencia 103. La potencia que se transmite al secundario 200 mediante el bobinado primario 101 depende de la tensión de salida  $V_1$  y de la corriente de salida  $I_1$  del convertidor de potencia 103, de tal manera que controlando al menos dicha tensión de salida  $V_1$  se puede controlar la potencia a transmitir al secundario 200, y por lo tanto la potencia que se recibe en dicho secundario 200 y que se emplea para recargar la batería 3. Preferentemente el controlador 104 está adaptado para controlar la apertura y cierre de cada uno de dichos conmutadores (control de los tiempos de conmutación de dichos conmutadores) para controlar así dicha tensión de salida  $V_1$ , y dicho control se realiza en función de al menos dos parámetros determinados como únicas variables tal y como se detallará más adelante, que se corresponden con dos magnitudes eléctricas del primario 100. Este control se realiza así manteniendo constante la frecuencia de conmutación, lo que implica un ahorro y simplicidad en cuanto a los elementos reactivos necesarios asociados a dicho convertidor de potencia 103. El controlador 104 puede ser un microprocesador, un microcontrolador, una FPGA o cualquier dispositivo con capacidad de cálculo. En la figura 3 se muestra a modo de ejemplo la captura de una imagen obtenida mediante un osciloscopio donde se muestra una tensión de salida  $V_1$  del convertidor de potencia 103 resultante como consecuencia de aplicar este control de potencia, donde se aprecian los tiempos muertos  $T_{OFF}$  añadidos a los conmutadores (al modificar los tiempos de conmutación) que en este caso provocan una disminución de la potencia a transmitir desde el primario 100.

En una realización preferente del primer aspecto de la invención, las magnitudes eléctricas del primario 100 detectadas son la tensión de salida  $V_1$  del convertidor de potencia 103 y la corriente de salida  $I_1$  de dicho convertidor de potencia 103, y el controlador 104 está adaptado para estimar el estado de carga de la batería 3 en función de dicha tensión de salida  $V_1$  y dicha corriente de salida  $I_1$ . El sistema comprende una topología de compensación 108 y 208 respectiva determinada en el primario 100 y en el secundario 200,



modelándose matemáticamente el circuito eléctrico visto desde el primario 100 en función de dicha topología de compensación 108 y 208. Como resultado de la modelización matemática se obtiene una ecuación que relaciona la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  del convertidor de potencia 103 con la tensión  $V_o$  entre los terminales de la batería 3, pudiéndose deducir dicha tensión  $V_o$  entre los terminales de la batería 3 a partir de dichas magnitudes, y pudiéndose estimar así el estado de carga de la batería 3 desde el primario 100. Generalmente el estado de la carga de la batería 3 se determina en porcentajes de carga de dicha batería 3, determinándose así como estado de carga que la batería esté al 50% de su capacidad, al 80%, etc.

10

El comportamiento de carga de una batería 3 es conocido en el sector, empleándose este conocimiento y el estado de carga para controlar la potencia transmitida por el primario 100 y por tanto la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3. Por ejemplo, cuando la batería 3 está muy descargada, la corriente de carga  $I_L$  puede tender a infinito, por lo que es deseable limitarla a al menos un máximo permitido que dependa de la electrónica empleada para la recarga. En el caso de la invención este dato es conocido y entonces el controlador 104, en base a la tensión  $V_o$ , está configurado para proporcionar la potencia máxima posible o permitida (tensión de salida  $V_1$  máxima) para obtener una corriente de carga  $I_L$  máxima. Cuando el estado de carga refleja que la batería 3 está próxima a su carga completa, el controlador 104 puede estar configurado para que la corriente de carga  $I_L$  disminuya hasta anularse finalmente.

20

En la realización preferente el sistema comprende una topología de compensación 108 y 208 de tipo SP (Serie - Paralelo) entre el primario 100 y el secundario 200 (aunque puede emplearse otra diferente en otras realizaciones), comprendiendo un condensador en serie con el bobinado primario 101 en el primario 100 y un condensador en paralelo con el bobinado secundario 201 en el secundario 200 tal y como se muestra en la figura 4, y la tensión  $V_o$  entre los terminales de la batería 3 se estima a partir de la tensión de salida  $V_1$  y de la corriente de salida  $I_1$  del primario 100 en base a la ecuación

30

$$V_1 = (\omega^2 M C_2) V_o + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2} \right) I_1; \quad [1]$$

obtenida como resultado de la modelización matemática del circuito eléctrico del primario

100, en donde:

- $\omega$ : frecuencia de conmutación del convertidor de potencia 103;
- $L_1$ : inductancia del primer bobinado;
- $M$ : relación de transformación entre el bobinado primario y el bobinado secundario;
- $C_2$ : capacidad del condensador dispuesto en paralelo en el secundario 200;
- $C_1$ : capacidad del condensador dispuesto en serie en el primario 100;
- $L_2$ : inductancia del segundo bobinado 201;
- $I_1$ : corriente de salida del convertidor de potencia 103;
- $V_1$ : tensión de salida del convertidor de potencia 103; y
- $V_o$ : tensión entre los terminales de la batería 3.

La ecuación resultante de la modelización matemática sería diferente en caso de emplearse otras topologías de compensación.

La modelización matemática se basa en un análisis del circuito eléctrico del primario 100 y del secundario 200, donde se incluye la modelización de las resistencias internas  $R_1$  y  $R_2$  de los dos bobinados 101 y 201. Analizando el circuito eléctrico mostrado en la figura 4 se obtiene que:

$$V_1 = V_{C1} + V_{L1} + V_{R1} - V_{Ref}; \quad [2]$$

en donde:

- $V_1$ : tensión de salida del convertidor de potencia 103;
- $V_{C1}$ : tensión en el condensador;
- $V_{L1}$ : tensión en el primer bobinado primario 101;
- $V_{R1}$ : tensión en la resistencia del primario 100; y
- $V_{Ref}$ : tensión caída en la impedancia del secundario 200 vista por el primario 100.

Simplificando  $R_1, R_2 \cong 0$ ,

$$V_1 = I_1 \left( -j \frac{1}{\omega C_1} + j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{jL_2\omega + \frac{R_L}{1+jR_L C_2\omega}} \right); \quad [3]$$

en donde:

- $I_1$ : intensidad de salida del convertidor de potencia 103;
- $C_1$ : capacidad del condensador del primario 100;
- $L_1$ : inductancia del bobinado primario 101;
- 5 -  $M$ : inductancia mutua entre el bobinado primario 101 y el bobinado secundario 201;
- $L_2$ : inductancia del bobinado secundario 201;
- $R_L$ : carga (batería 3); y
- $C_2$ : capacidad del condensador del secundario 200.

10

Trabajando en resonancia en el secundario 200 se verifica que  $\omega^2 = \frac{1}{L_2 C_2}$ , y sustituyendo  $\omega^2$  por  $\frac{1}{L_2 C_2}$  en la ecuación [3] se obtiene:

$$V_1 = I_1 \left( \frac{\omega^2 M^2 R_L C_2}{L_2} + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2} \right) \right); \quad [4]$$

15

Aplicando la ley de Kirchhoff de tensiones en el secundario 200:

$$I_S = \frac{I_1 j \omega M}{j \omega L_2 + \frac{R_L}{1 + j \omega R_L C_2}}; \quad [5]$$

$$I_L = \frac{I_S}{(1 + j \omega R_L C_2)}; \quad [6]$$

20 en donde:

- $I_S$ : corriente a través del bobinado secundario 201; e
- $I_L$ : corriente a través de la carga (corriente de carga  $I_L$  de la batería 3).

Teniendo en cuenta que

25

$$\omega^2 = \frac{1}{L_2 C_2}; \quad [7]$$

$$I_S = \frac{I_1 j \omega M (1 + j \omega R_L C_2)}{j \omega L_2 - R_L C_2 L_2 \omega^2 + R_L} = \frac{I_1 M}{L_2} (1 + j \omega R_L C_2); \quad [8]$$

$$I_L = I_1 \frac{M}{L_2}; \quad [9]$$

$$I_L = \frac{V_o}{R_L}; \quad [10]$$

5 y relacionando entre sí estas ecuaciones, se puede establecer una función entre la tensión en el bobinado primario 101 y la tensión en el bobinado secundario 201. En concreto está función es:

$$V_1 = (\omega^2 M C_2) V_o + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2} \right) I_1$$

10 que se corresponde con la ecuación [1].

Como resultado se observa que la parte real de la tensión de salida  $V_1$  está correlacionada con la tensión  $V_o$  (tensión de la carga, en este caso tensión entre los terminales de la batería 3) y que la parte imaginaria está correlacionada con la corriente de salida  $I_1$ , con unos factores de proporcionalidad A y B respectivos tal y como se resume en la siguiente ecuación:

$$V_1 = A V_o + j B I_1; \quad [11]$$

20 en donde:

$$A = \omega^2 M C_2; \quad [12]$$

$$B = \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2} \right); \quad [13]$$

25 El controlador 104 está configurado para, a partir de la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  detectadas, poder interpretar dicha tensión de salida  $V_1$  según su parte real y su parte imaginaria. Como los parámetros A y B son conocidos, a partir de la descomposición el controlador 104 puede deducir la tensión  $V_o$ , y por tanto el estado de la carga de la batería 3, y por tanto la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3 (a partir de la ecuación [9] o de la  
30 ecuación [10]).

Cuando el primario 100 se asocia a un secundario 200 para cargar una batería 3 conectada a dicho secundario 200, se parte del hecho de que la tensión  $V_o$  está impuesta (tensión existente entre los dos terminales de la batería 3), y en función de dicha tensión  $V_o$ , que el controlador 104 ha deducido a partir de la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  detectadas y de la ecuación [1], y de su evolución, es posible conocer el estado de carga de la misma. Un cambio en la tensión de salida  $V_1$  repercute en la potencia que recibe la batería 3. La variación de la tensión de salida  $V_1$  en el primario 100 se logra, en la invención, cambiando los tiempos de conmutación de los conmutadores del convertidor de potencia 103 del primario 100, disminuyendo o aumentando los tiempos muertos en los IGBTs o elementos equivalentes, entendiendo los tiempos muertos como el tiempo que transcurre desde la desactivación de uno y la activación de otro que pertenecen a una misma rama. Al provocar el controlador 104 un cambio en la tensión de salida  $V_1$ , como consecuencia se modifican tanto la parte real como la parte imaginaria de la ecuación [1], y por tanto se modifica también la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3.

Durante el proceso de recarga de una batería 3, la corriente de carga  $I_L$  que se está suministrando a la batería 3 se puede conocer a partir de la parte imaginaria de la tensión de salida  $V_1$  del convertidor de potencia 103, tal y como se ha comentado. Por tanto, según lo expuesto anteriormente, puede conocerse la tensión entre los dos terminales de la batería 3, y por tanto su estado de carga, y la corriente de carga  $I_L$  únicamente mediante las variables eléctricas del primario 100.

Los medios de detección comprenden un primer detector 1 para detectar la tensión de salida  $V_1$  del convertidor de potencia 103 y un segundo detector 2 para detectar la corriente de salida  $I_1$  del convertidor de potencia 103. El controlador 104 está comunicado con ambos detectores 1 y 2 y recibe así la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$  del convertidor de potencia 103 dinámicamente (en tiempo real) detectadas por dichos detectores 1 y 2, de tal manera que el controlador 104 es capaz de adaptarse dinámicamente al estado de carga de la batería 3.

En cualquiera de las realizaciones del sistema, el controlador 104 está configurado para determinar la tensión  $V_o$  en función de la tensión de salida  $V_1$  y de la corriente de salida  $I_1$

según las ecuaciones [11], [12] y [13] o según la ecuación [1]. Para ello el controlador 104 tiene implementadas internamente dichas ecuaciones, implementación que se realiza con anterioridad (en fábrica por ejemplo). Como se ha comentado anteriormente el controlador 104 puede ser un microprocesador, un microcontrolador, una FPGA o cualquier dispositivo con capacidad de cálculo, por lo que está también capacitado para implementar estas funciones. Estas funciones son previamente determinadas y almacenadas en el controlador 104 (o en una memoria asociada a dicho controlador 104).

En otras realizaciones del sistema el controlador 104 puede tener asociados diferentes algoritmos o ecuaciones referentes a diferentes topologías de compensación, pudiendo emplearse para cualquier tipo de topología de compensación. Además, el primario 100 puede disponer de unos medios para determinar automáticamente la topología de compensación del secundario 200 (en el vehículo) y seleccionar así automáticamente el algoritmo o ecuación asociado a la topología de compensación formada por la del primario 100 (conocida) y por la del secundario 200 (detectada automáticamente).

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos, que está adaptado para implementarse en un sistema como el del primer aspecto de la invención e incorpora por tanto todas las características asociadas a dicho sistema. En el método se detectan dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia 103, se estima dinámicamente el estado de carga de la batería 3 en función de dichas magnitudes eléctricas, y se optimiza la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3 ajustando la potencia transmitida por el primario 100 al secundario 200 durante la recarga de dicha batería 3, actuando sobre el convertidor de potencia 103 en función de dicho estado de carga estimado. El estado de carga se determina como se ha comentado para el primer aspecto de la invención, en particular en base a una ecuación obtenida a partir de una modelización matemática, tal y como se ha comentado anteriormente para el primer aspecto de la invención y a la deducción de la tensión  $V_o$  realizada a partir de esta ecuación. En una realización preferente el método está adaptado para implementarse en un sistema con topología de compensación 108 y 208 de tipo SP (Serie - Paralelo), de tal manera que la ecuación empleada es la ecuación [1], pero en caso de aplicarse a un sistema con una topología de compensación diferente esta ecuación también sería diferente.

Las magnitudes eléctricas detectadas son la tensión de salida  $V_1$  y la corriente de salida  $I_1$ , a partir de las cuales se puede deducir la tensión  $V_o$  mediante la ecuación [1].

- 5 En el método, en cualquiera de sus realizaciones, la potencia transmitida desde el primario 100 al secundario 200 del sistema se ajusta controlando los tiempos de conmutación de los conmutadores del convertidor de potencia 103, a una frecuencia sustancialmente constante, en función del estado de carga de la batería 3 estimada, con el propósito de optimizar la corriente de carga  $I_L$  de la batería 3.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos, que comprende un primario (100) con al menos un convertidor de potencia (103), un controlador (104) y un bobinado primario (101), y un secundario (200) con un bobinado secundario (201) que recibe inalámbricamente la potencia transmitida desde el bobinado primario (101) del primario (100) y que está conectado a una batería (3), **caracterizado porque** el sistema comprende además, en el primario (100), unos medios de detección que detectan dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia (103) y que están comunicados con el controlador (104), estando el controlador (104) configurado para estimar dinámicamente el estado de carga de la batería (3) en función de dichas magnitudes eléctricas y para ajustar la potencia transmitida por el primario (100) al secundario (200) y optimizar así la corriente de carga ( $I_L$ ) de la batería (3) durante la recarga de la misma, actuando sobre el convertidor de potencia (103) en función de dicho estado de carga estimado.
2. Sistema según la reivindicación 1, en donde las magnitudes eléctricas detectadas son la tensión de salida ( $V_1$ ) y la corriente de salida ( $I_1$ ) del convertidor de potencia (103).
3. Sistema según la reivindicación 2, que comprende una topología de compensación (108, 208) respectiva determinada en el primario (100) y en el secundario (200), modelándose el circuito eléctrico del primario (100) en función de dicha topología de compensación (108, 208) para obtener una ecuación que relaciona la tensión de salida ( $V_1$ ) y la corriente de salida ( $I_1$ ) del convertidor de potencia (103) con la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3), estimándose el estado de carga de la batería (3) desde el primario (100) en función de la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3) con dicha ecuación.
4. Sistema según la reivindicación 3, en donde el controlador (104) está configurado para descomponer la tensión de salida ( $V_1$ ) detectada en su parte real y en su parte imaginaria, comprendiendo el sistema una topología de compensación (108, 208) de tipo SP, comprendiendo un condensador en serie con el bobinado primario (101) en el primario (100) y un condensador en paralelo con el bobinado secundario (201) en el



secundario (200), estando el primario (100) y el secundario (200) en resonancia y estimándose el estado de carga de la batería (3) en base a la ecuación

$$V_1 = (\omega^2 M C_2) V_o + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2}) I_1$$

5 que relaciona la tensión de salida ( $V_1$ ) del convertidor de potencia (103) con la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3),

en donde:

$V_1$ : tensión de salida del convertidor de potencia (103);

$V_o$ : tensión entre los terminales de la batería (3);

10  $\omega$ : frecuencia de la tensión de alimentación (102);

$L_1$ : inductancia del bobinado primario (101);

$M$ : relación de transformación entre el bobinado primario (101) y el bobinado secundario (201);

$C_2$ : capacidad del condensador dispuesto en paralelo en el secundario (200);

15  $C_1$ : capacidad del condensador dispuesto en serie en el primario (100);

$L_2$ : inductancia del bobinado secundario (201); y

$I_1$ : corriente de salida del convertidor de potencia (103);

20 estimando el controlador (104) el estado de carga de la batería (3) a partir de la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de dicha batería (3) deducida a partir de la parte real de dicha ecuación.

5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los medios de detección comprenden un primer detector (1) para detectar la tensión de salida ( $V_1$ ) del convertidor de potencia (103) y un segundo detector (2) para detectar la corriente de salida ( $I_1$ ) del convertidor de potencia (103), estando ambos detectores (1, 2) comunicados con el controlador (104) del primario (100).

6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el convertidor de potencia (103) comprende al menos dos ramas de conmutadores controlables, estando el controlador (104) adaptado para controlar los tiempos de conmutación de dichos conmutadores, a una frecuencia sustancialmente constante, en función del estado de

carga de la batería (3) estimada para optimizar la corriente de carga ( $I_L$ ) de la batería (3).

7. Método para la recarga inductiva de baterías de vehículos eléctricos mediante un sistema adaptado para la recarga inductiva de baterías, comprendiendo el sistema un primario (100) con al menos un convertidor de potencia (103), un controlador (104) y un bobinado primario (101), y un secundario (200) con un bobinado secundario (201) que recibe inálámbicamente la potencia transmitida desde el bobinado primario (101) del primario (100) y que está conectado a una batería (3), **caracterizado porque** en el método, en una primera etapa se detectan dinámicamente al menos dos magnitudes eléctricas a la salida del convertidor de potencia (103), en una segunda etapa se estima dinámicamente el estado de carga de la batería (3) en función de dichas magnitudes eléctricas, y en una tercera etapa se optimiza la corriente de carga ( $I_L$ ) de la batería (3) ajustando la potencia transmitida por el primario (100) al secundario (200) durante la recarga de dicha batería (3), actuando sobre el convertidor de potencia (103) en función de dicho estado de carga estimado.
8. Método según la reivindicación 7, en donde las magnitudes eléctricas detectadas son la tensión de salida ( $V_1$ ) y la corriente de salida ( $I_1$ ) del convertidor de potencia (103), y en donde el controlador (104) está adaptado para estimar el estado de carga de la batería (3) en función de dichas magnitudes de salida.
9. Método según la reivindicación 8, en donde para estimar el estado de la carga se modela matemáticamente el circuito eléctrico del primario (100) del sistema para obtener una ecuación que relaciona la tensión de salida ( $V_1$ ) del convertidor de potencia (103) con la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3), estimándose el estado de carga de la batería (3) desde el primario (100) en función de la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3) con dicha ecuación en la segunda etapa.
10. Método según la reivindicación 9, en donde se descompone la tensión de salida ( $V_1$ ) detectada en su parte real y en su parte imaginaria, comprendiendo el sistema una topología de compensación (108, 208) de tipo SP que implica un condensador en serie con el bobinado primario (101) en el primario (100) y un condensador en paralelo con el bobinado secundario (201) en el secundario (200), estando el primario (100) y el

secundario (200) en resonancia y estimándose en la segunda etapa el estado de carga de la batería (3) en base a la ecuación

$$V_1 = (\omega^2 M C_2) V_o + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{\omega M^2}{L_2}) I_1$$

5 que relaciona la tensión de salida ( $V_1$ ) del convertidor de potencia (103) con la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de la batería (3),

en donde:

$V_1$ : tensión de salida del convertidor de potencia (103);

$V_o$ : tensión entre los terminales de la batería (3);

10  $\omega$ : frecuencia de la tensión de alimentación (102);

$L_1$ : inductancia del bobinado primario (101);

$M$ : relación de transformación entre el bobinado primario (101) y el bobinado secundario (201);

$C_2$ : capacidad del condensador dispuesto en paralelo en el secundario (200);

15  $C_1$ : capacidad del condensador dispuesto en serie en el primario (100);

$L_2$ : inductancia del bobinado secundario (201); y

$I_1$ : corriente de salida del convertidor de potencia (103);

20 estimándose el estado de carga de la batería (3) a partir de la tensión ( $V_o$ ) entre los terminales de dicha batería (3) deducida a partir de la parte real de dicha ecuación en la segunda etapa.

11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en donde el convertidor de potencia (103) comprende al menos dos ramas de conmutadores controlables, ajustándose la potencia transmitida desde el primario (100) al secundario (200) controlando los tiempos de conmutación de dichos conmutadores, a una frecuencia sustancialmente constante, en función del estado de carga de la batería (3) estimada para optimizar la corriente de carga ( $I_L$ ) de la batería (3).

30

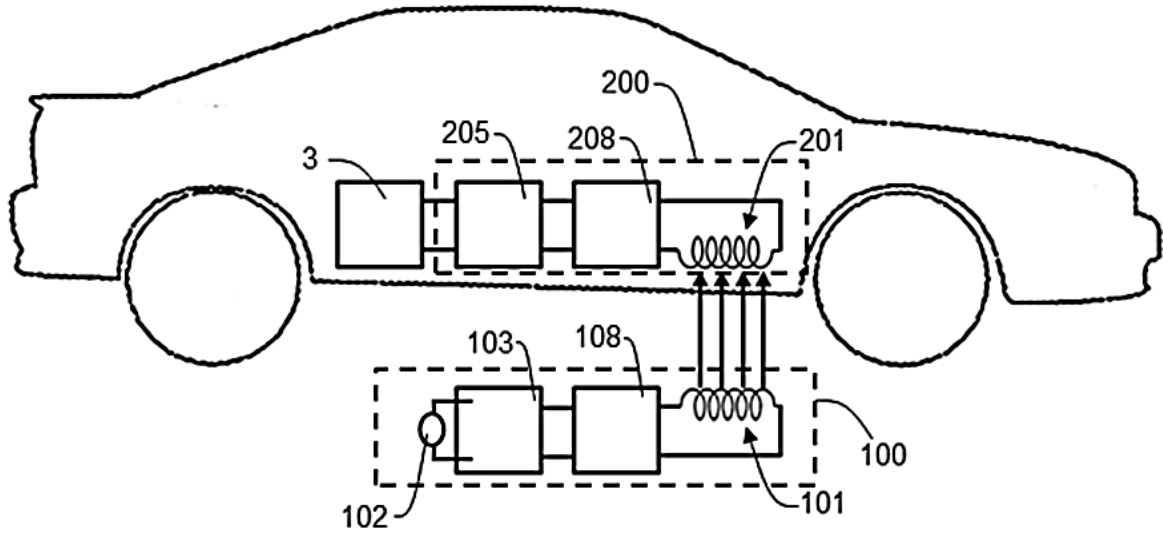


FIG. 1

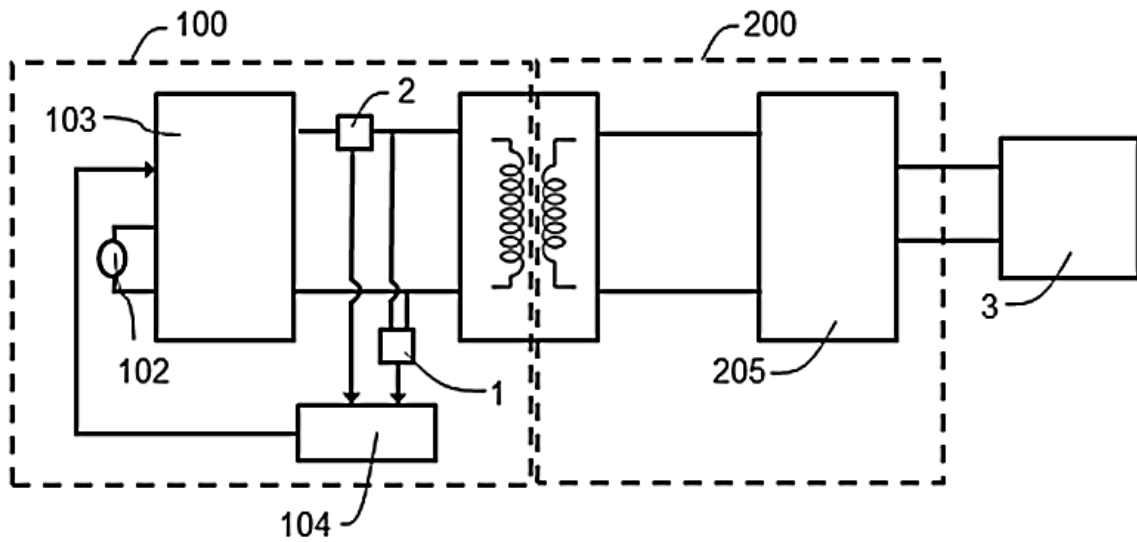


FIG. 2

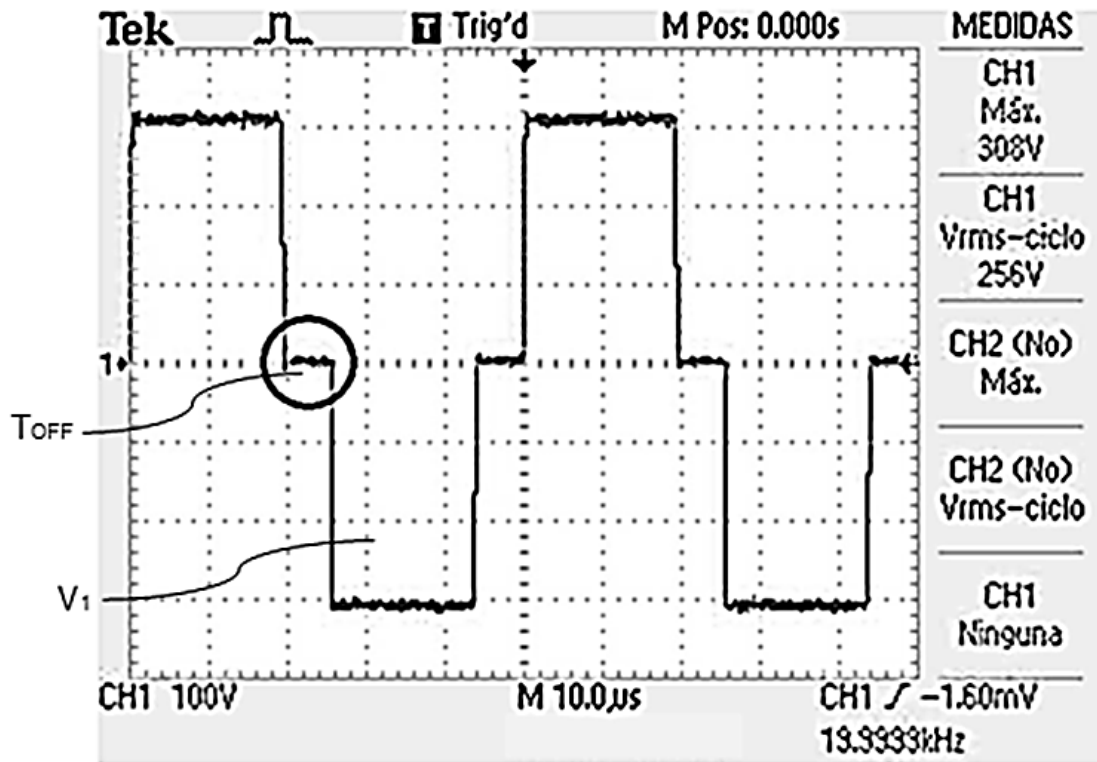


FIG. 3

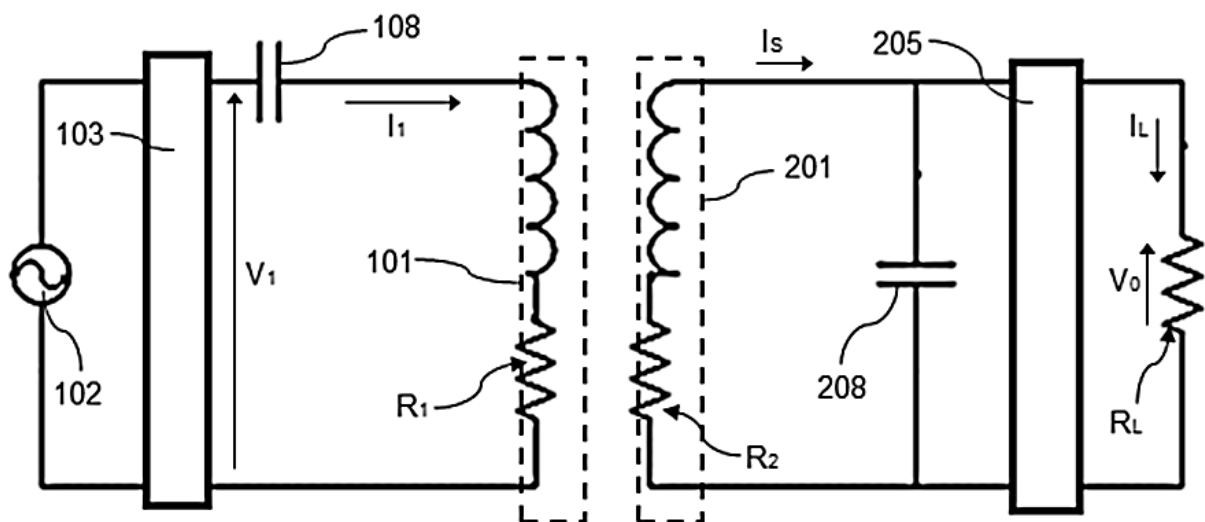


FIG. 4