(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Oktober 2012 (26.10.2012)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/143243 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 31/36 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/056175

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. April 2012 (04.04.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 007 884.3
21. April 2011 (21.04.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SB LIMOTIVE GERMANY GMBH** [DE/DE]; Kruppstrasse 20, 70469 Stuttgart (DE). **SB LIMOTIVE COMPANY LTD.** [KR/KR]; 428-5 Gongse-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-577 (KR).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **WICKERT, Stefan** [DE/DE]; Schlierbacher Str. 29/4, 73095 Albershausen (DE). **HEUBNER, Anne** [DE/DE]; Dieterlestr. 97, 70469 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: **BEE, Joachim**; Robert Bosch GmbH, Postfach 30 02 20, Wernerstr. 1, 70442 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

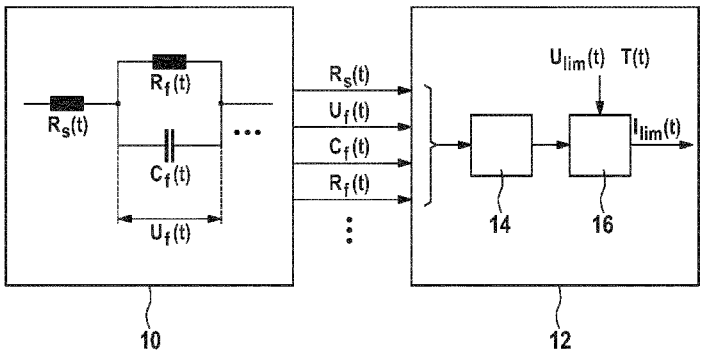
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR DETERMINING A MAXIMUM AVAILABLE CONSTANT CURRENT OF A BATTERY

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINES MAXIMAL VERFÜGBAREN KONSTANTSTROMS EINER BATTERIE

FIG. 2



(57) **Abstract**: A method for determining a maximum constant current (I_{lim}) of a battery available over a prediction period (T) is described. The method comprises determining (10) a battery state and determining (14) the solution to a differential equation which describes the temporal development of the battery state over the course of the prediction period (T) with the aid of an equivalent circuit diagram model. A battery management unit is also provided and is designed to carry out the method according to the invention. The battery management unit may comprise means for determining the battery state and a control unit which is designed to determine the solution to the differential equation. A battery having a battery management unit according to the invention and a motor vehicle comprising a battery management unit according to the invention or a battery according to the invention are also provided.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/143243 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Es wird ein Verfahren zur Bestimmung eines über einen Prädiktionszeitraum (T) maximal verfügbaren Konstantstroms (I_{lim}) einer Batterie beschrieben. Das Verfahren umfasst Ermitteln (10) eines Batteriezustands und Bestimmen (14) der Lösung einer Differentialgleichung, die die zeitliche Entwicklung des Batteriezustands im Verlauf des Prädiktionszeitraums (T) mithilfe eines Ersatzschaltbildmodells beschreibt. Ferner wird eine Batteriemanagementeinheit zur Verfügung gestellt, die dazu ausgebildet ist, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Die Batteriemanagementeinheit kann Mittel zum Ermitteln des Batteriezustands und eine Steuereinheit, die dazu ausgebildet ist, die Lösung der Differentialgleichung zu bestimmen, umfassen. Des Weiteren wird eine Batterie mit einer erfindungsgemäßen Batteriemanagementeinheit zur Verfügung gestellt, sowie ein Kraftfahrzeug, das eine erfindungsgemäße Batteriemanagementeinheit oder eine erfindungsgemäße Batterie umfasst.

Beschreibung

Titel

Verfahren zur Bestimmung eines maximal verfügbaren Konstantstroms einer Batterie

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines über einen Prädiktionszeitraum maximal verfügbaren Konstantstroms einer Batterie, eine Batteriemanagementeinheit, die dazu ausgebildet ist, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen, eine Batterie, die die erfindungsgemäße Batteriemanagementeinheit umfasst sowie ein Kraftfahrzeug, das die erfindungsgemäße Batteriemanagementeinheit oder die erfindungsgemäße Batterie umfasst.

Stand der Technik

Beim Einsatz von Batterien, insbesondere in Kraftfahrzeugen, ergibt sich die Frage, mit welchem konstanten Strom die Batterie über einen bestimmten Prädiktionszeitraum hinweg maximal entladen oder geladen werden kann, ohne Grenzen für die Betriebsparameter der Batterie, insbesondere für die Zellspannung, zu verletzen. Aus dem Stand der Technik sind zwei Verfahren zur Bestimmung eines solchen über einen Prädiktionszeitraum maximal verfügbaren Konstantstroms einer Batterie bekannt.

In einem ersten aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren wird der maximal verfügbare Konstantstrom iterativ anhand eines Ersatzschaltbildmodells ermittelt. Dabei wird die Batterie in jeder Iteration über den gesamten Prädiktionszeitraum hinweg unter der Annahme eines bestimmten konstanten Stroms simuliert. Die Iteration beginnt mit einem relativ niedrigen Stromwert. Wird die Spannungsgrenze der Batterie in der Simulation nicht erreicht, so wird der Stromwert für die nächste Iteration erhöht; wird die Spannungsgrenze erreicht, so wird die Iteration beendet. Als maximal verfügbarer Konstantstrom

kann dann der letzte Stromwert verwendet werden, bei dem die Spannungsgrenze der Batterie in der Simulation nicht erreicht wurde. Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass die Iteration und die Simulation einen erheblichen Rechenaufwand erfordern.

In einem zweiten aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren wird der maximal verfügbare Konstantstrom anhand von Kennfeldern in Abhängigkeit von Temperatur und Ladezustand ermittelt. Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass die Kennfelder einen erheblichen Speicheraufwand erfordern. Des Weiteren ist nachteilig, dass aufgrund der in der Verwendung diskretisiert abgespeicherter Kennfelder inhärenten Näherungen eine Sicherheitsspanne vorgesehen werden muss, die zu einer Überdimensionierung des Systems führt.

Aus der DE 10 2008 004 368 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung einer zu einem jeweiligen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Leistung und/oder elektrischen Arbeit und/oder entnehmbaren Ladungsmenge einer Batterie bekannt, in dem als Ladungsprädiktionskennfeld für jede Kombination eines einer Vielzahl von Temperaturprofilen mit einem einer Vielzahl von Leistungsanforderungsprofilen oder einem einer Vielzahl von Stromanforderungsprofilen ein zeitlicher Ladungsmengenverlauf abgespeichert wird.

Offenbarung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Bestimmung eines über einen Prädiktionszeitraum maximal verfügbaren Konstantstroms einer Batterie zur Verfügung gestellt. Das Verfahren umfasst Ermitteln eines Batteriezustands sowie Bestimmen der Lösung einer Differentialgleichung, die die zeitliche Entwicklung des Batteriezustands im Verlauf des Prädiktionszeitraums mithilfe eines Ersatzschaltbildmodells beschreibt.

Vorzugweise ist dabei der maximal verfügbare Konstantstrom als derjenige Konstantstrom definiert, bei dem am Ende des Prädiktionszeitraums eine Grenze für einen Betriebsparameter der Batterie erreicht wird. Bei dem Betriebsparameter kann es sich insbesondere um eine Zellspannung handeln,

und bei der Grenze kann es sich um eine Obergrenze oder um eine Untergrenze handeln.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner Berechnen des maximal verfügbaren Konstantstroms durch Einsetzen einer Grenze für eine Zellspannung in die Lösung der Differentialgleichung.

Das Ersatzschaltbildmodell kann durch eine Reihenschaltung eines ersten Widerstandes und eines weiteren Gliedes gegeben sein, wobei das weitere Glied durch eine Parallelschaltung eines zweiten Widerstandes und einer Kapazität gegeben ist. Die Ermittlung des Batteriezustands kann die Ermittlung geeigneter Werte für den ersten Widerstand, den zweiten Widerstand, die Kapazität und die an dem weiteren Glied anliegende Spannung umfassen.

Vorzugsweise wird beim Bestimmen der Lösung der Differentialgleichung vorausgesetzt, dass der erste Widerstand, der zweite Widerstand und die Kapazität über den Prädiktionszeitraum hinweg konstant sind. Ferner wird vorzugsweise beim Bestimmen der Lösung der Differentialgleichung vorausgesetzt, dass der von der Batterie gelieferte Strom über den Prädiktionszeitraum hinweg konstant ist.

Die Erfindung stellt ferner eine Batteriemanagementeinheit zur Verfügung, die dazu ausgebildet ist, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Die Batteriemanagementeinheit kann Mittel zum Ermitteln des Batteriezustands sowie eine Steuereinheit, die dazu ausgebildet ist, die Lösung der Differentialgleichung zu bestimmen, umfassen.

Die Erfindung stellt ferner eine Batterie mit einer erfindungsgemäßen Batteriemanagementeinheit zur Verfügung. Insbesondere kann die Batterie eine Lithium-Ionen-Batterie sein.

Schließlich stellt die Erfindung ein Kraftfahrzeug, insbesondere ein elektrisches Kraftfahrzeug, zur Verfügung, das eine erfindungsgemäße Batteriemanagementeinheit oder eine erfindungsgemäße Batterie umfasst.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und in der Beschreibung beschrieben.

Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Ersatzschaltbild zur Verwendung in einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 2 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 3 ein Stromdiagramm zum Vergleich des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem kennfeldbasierten Verfahren, und

Figur 4 ein Spannungsdiagramm zum Vergleich des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem kennfeldbasierten Verfahren.

Ausführungsformen der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht darauf, die zeitliche Entwicklung des Batteriezustands mithilfe eines Ersatzschaltbildmodells vorherzusagen. In Figur 1 ist ein Beispiel eines hierfür geeigneten Ersatzschaltbilds gezeigt. Dabei ist ein ohmscher Widerstand R_s mit einem weiteren Glied in Reihe geschaltet, wobei das weitere Glied aus einem ohmschen Widerstand R_f und einer Kapazität C_f besteht, die parallel geschaltet sind (RC-Glied). Die Widerstände R_s und R_f, die Kapazität C_f und die an dem weiteren Glied anliegende Spannung U_f werden dabei als zeitabhängig angesetzt. Wahlweise kann auch ein Ersatzschaltbild mit beliebiger Anzahl beliebig parametrierter ohmscher Widerstände und Parallelschaltungen von ohmschen Widerständen und Kapazitäten (RC-Glieder) verwendet werden.

Zur Vorhersage der zeitlichen Entwicklung des Batteriezustands wird mithilfe des Ersatzschaltbildmodells eine Differentialgleichung aufgestellt und dann unter

vereinfachenden Annahmen analytisch gelöst. Die Zellspannung U_{cell} ist zu jedem Zeitpunkt durch

$$U_{cell}(t) = U_{OCV}(t) + U_s(t) + U_f(t)$$

gegeben. Dabei bezeichnet $U_{OCV}(t) = U_{OCV}(SOC(t), \theta(t))$ die Leerlaufspannung, die über den Ladezustand SOC (t) und die Temperatur θ (t) von der Zeit abhängt; $U_s(t) = R_s(SOC(t), \theta(t)) \cdot I_{cell}(t)$ bezeichnet den Spannungsabfall an dem Widerstand R_s, wobei der Widerstand R_s wiederum über den Ladezustand SOC (t) und die Temperatur θ (t) von der Zeit abhängt; $I_{cell}(t)$ bezeichnet den Lade- bzw. Entladestrom zur Zeit t und somit den Strom, der im Ersatzschaltbildmodell durch den Widerstand R_s und das damit in Reihe geschaltete weitere Glied fließt; und $U_f(t)$ bezeichnet den Spannungsabfall an dem weiteren Glied, der durch die Lösung der in dem Ersatzschaltbildmodell gültigen Differentialgleichung

$$C_f(SOC(t),\theta(t))\frac{d}{dt}U_f(t) + \frac{U_f(t)}{R_f(SOC(t),\theta(t))} = I_{cell}(t)$$

für $t > t_0$ und Anfangswert $U_f^0 = U_f(t_0)$ gegeben ist, wobei auch der Widerstand R_f und die Kapazität C_f wiederum über den Ladezustand SOC (t) und die Temperatur θ (t) von der Zeit abhängen und t_0 den Beginn des Prädiktionszeitraums bezeichnet.

Da Zweck des Verfahrens die Bestimmung eines maximalen Konstantstroms ist, wird der Strom I_{cell} (t) als während des Prädiktionszeitraums konstant angesetzt. Die durch Änderungen des Ladezustands und der Temperatur der Batterie bedingten Änderungen in den Parametern R_s, R_f und C_f des Ersatzschaltbildmodells sind über einen typischen Prädiktionszeitraum von 2 s oder 10 s gering und können vernachlässigt werden, so dass diese Parameter über den Prädiktionszeitraum hinweg als konstant betrachtet werden können. Ihre aktuellen Werte sowie den aktuellen Wert der Spannung U_f zu Beginn des Prädiktionszeitraums liefert die Modellberechnung der Batteriezustandsbestimmung (Battery State Detection, BSD); sie bilden die Eingabewerte des Prädiktionsvorgangs.

Die Änderung der Leerlaufspannung aufgrund der Änderung des Ladezustands der Batterie wird in linearer Näherung berücksichtigt, während die Änderung der

Leerlaufspannung aufgrund der Änderung der Temperatur wiederum vernachlässigt wird:

$$U_{OCV}(t) = U_{OCV}(t_0) + \Delta U_{OCV}(t) \approx U_{OCV}(t_0) + \Delta SOC(t)\frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC} .$$

Dabei ergibt sich die Änderung des in Prozent der Nennladung (Gesamtkapazität) chCap der Batterie angegebenen Ladezustands aus dem Strom I_{cell} und der Zeit t zu

$$\Delta SOC(t) = 100 \cdot \frac{I_{cell} \cdot (t - t_0)}{chCap} .$$

Der Steigungsterm $\frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC}(SOC)$, die partielle Ableitung der Leerlaufspannung nach dem Ladezustand, wird entweder einmal berechnet und als Kennfeld gespeichert, oder er wird im Betrieb aus dem Kennfeld $U_{OCV}(SOC)$ berechnet. In beiden Fällen wird dabei die Ableitung näherungsweise durch Differenzbildung berechnet, wobei als Schrittweite für die Differenzbildung beispielsweise eine Änderung des Ladezustands verwendet werden kann, die aus dem Stromfluss I_0 = chCap/3600s = chCap/1h resultiert. SOC (t_0 + T) für die Differenzbildung ist dann annähernd SOC (t_0) + I_0 · T · 100 / chCap:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC}(SOC) &\approx \frac{U_{OCV}(SOC + 100 \cdot \frac{chCap}{1h} \cdot T/chCap) - U_{OCV}(SOC)}{100 \cdot \frac{chCap}{1h} \cdot T/chCap} \\ &= \frac{U_{OCV}(SOC + 100 \cdot T/h) - U_{OCV}(SOC)}{100 \cdot T/h}.\end{aligned}$$

Mit obigen Annahmen und der Zeitkonstanten $\tau_f = C_f R_f$ ergibt sich die vereinfachte Differentialgleichung

$$\dot{U}_f(t) = -\frac{1}{\tau_f} U_f(t) + \frac{1}{C_f} I_{cell} \quad \forall\, t > t_0, \quad U_f(t_0) = U_f^0 ,$$

in der nur noch die Spannung U_f (t) von der Zeit abhängt. Die Lösung lautet

$$U_f(t) = U_f^0\, e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}} + I_{cell}\, R_f\, (1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}}) .$$

Die gesamte Zellspannung zum Zeitpunkt t ist somit

$$\begin{aligned} U_{cell}(t) &= U_{OCV}(t_0) + 100 \cdot \frac{I_{cell} \cdot (t - t_0)}{chCap} \cdot \frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC} \\ &+ U_f^0 \, e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}} + I_{cell} \cdot R_s + I_{cell} \cdot R_f \cdot (1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}}) \, . \end{aligned}$$

Auflösen nach dem konstanten Strom I_{cell} ergibt nun

$$I_{cell} = \frac{U_{cell}(t) - U_{OCV}(t_0) - U_f^0 \, e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}}}{R_s + R_f \, (1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau_f}}) + \frac{100 \cdot (t-t_0)}{chCap} \cdot \frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC}} \, .$$

Aus der Bedingung, dass zum Ende des Prädiktionszeitraums, zur Zeit $t = t_0 + T$, die Grenze U_{lim} für die Zellspannung U_{cell} (t) einzuhalten ist, lässt sich nun durch Einsetzen dieser Größen der maximal verfügbare Konstantstrom I_{lim} berechnen:

$$I_{lim} = \frac{U_{lim} - U_{OCV}(t_0) - U_f^0 \, e^{-\frac{T}{\tau_f}}}{R_s + R_f \, (1 - e^{-\frac{T}{\tau_f}}) + \frac{100 \cdot T}{chCap} \cdot \frac{\partial U_{OCV}}{\partial SOC}} \, .$$

Dabei lässt sich die Annäherung für die Änderung der Leerlaufspannung unter Umständen auch vernachlässigen, was die Formel vereinfacht zu

$$I_{lim} = \frac{U_{lim} - U_{OCV}(t_0) - U_f^0 \, e^{-\frac{T}{\tau_f}}}{R_s + R_f \, (1 - e^{-\frac{T}{\tau_f}})} \, .$$

Figur 2 zeigt anhand eines Ausführungsbeispiels schematisch den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens. Auf der Grundlage des in Figur 1 dargestellten Ersatzschaltbildmodells werden bei der Batteriezustandsbestimmung 10 die aktuellen Werte der Parameter R_s, R_f, C_f und U_f bestimmt. Dazu können sämtliche verfügbaren Informationen über die Batterie verwendet werden, beispielsweise der Erhaltungszustand (state of health, SOH) der Batterie, adaptierte Parameter und/oder aktuelle Werte von dynamischen Zustandsgrößen. Die Parameter R_s, R_f, C_f und U_f bilden die Eingabewerte für den Prädiktionsvorgang 12. Zunächst wird in Schritt 14 auf Grundlage der Parameter R_s, R_f, C_f und U_f die Lösung der Differentialgleichung bestimmt. In einer elektronischen Steuereinheit können beispielsweise in diesem Schritt die Werte der Parameter R_s, R_f, C_f und U_f in die allgemeine Form der analytischen Lösung

eingesetzt werden, wobei das Ergebnis eine symbolische Darstellung der Abhängigkeit der Zellspannung U_{cell} (t) von der Zeit t und dem Strom I_{cell} ist. Diese symbolische Darstellung des Spannungsverlaufs kann auch für andere Zwecke neben der Bestimmung eines maximal verfügbaren Konstantstroms genutzt werden, beispielsweise zur Bestimmung einer über die Zeitdauer T des Prädiktionszeitraums gemittelten Spannung. Zur Bestimmung des maximal verfügbaren Konstantstroms werden nun in Schritt 16 die Zeitdauer $T = t - t_0$ des Prädiktionszeitraums sowie eine einzuhaltende Spannungsgrenze U_{lim} in die in Schritt 14 bestimmte Lösung der Differentialgleichung eingesetzt, und dadurch wird der maximal verfügbare Konstantstrom I_{lim} bestimmt. In einer elektronischen Steuereinheit können beispielsweise in diesem Schritt in den nach dem Strom I_{cell} aufgelösten Zusammenhang zwischen U_{cell} (t), I_{cell} und t die Zahlenwerte U_{lim} für U_{cell} (t) und T für $t - t_0$ eingesetzt werden, um den über den Prädiktionszeitraum hinweg maximal verfügbaren Konstantstrom I_{lim} zu bestimmen. Alle betrachteten Größen sind, wie in der Figur gekennzeichnet, zeitabhängig; R_s, R_f, C_f werden jedoch näherungsweise als über den Prädiktionszeitraum konstant betrachtet, und der maximal verfügbare Konstantstrom I_{lim}, die einzuhaltende Spannungsgrenze U_{lim} sowie die Zeitdauer T des Prädiktionszeitraums sind per Definition über den Prädiktionszeitraum hinweg konstant, können jedoch in aufeinander folgenden Prädiktionszeiträumen verschiedene Werte annehmen.

In Figur 3 ist ein Stromdiagramm zum Vergleich des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem kennfeldbasierten Verfahren gezeigt. Der Prädiktionszeitraum umfasst jeweils eine Zeitdauer T. Der Graph 18 zeigt den Verlauf des der Batterie tatsächlich entnommenen Stroms I in Abhängigkeit von der Zeit t. Die Graphen 20 und 22 zeigen zu jedem Zeitpunkt den Wert, den eine zu diesem Zeitpunkt durchgeführte Bestimmung des maximal verfügbaren Konstantstroms für einen zu diesem Zeitpunkt beginnenden Prädiktionszeitraum der Länge T ergeben würde. Dabei zeigt der Graph 20 nach dem erfindungsgemäßen Verfahren berechnete Werte, und der Graph 22 zeigt nach einem kennfeldbasierten Verfahren berechnete Werte. Der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmte maximale Konstantstrom wird jeweils über eine Zeitdauer T konstant der Batterie entnommen und dann an das aktuelle Berechnungsergebnis angepasst, wodurch sich der stufenförmige Verlauf des Graphen 18 ergibt.

In Figur 4 ist ein Spannungsdiagramm zum Vergleich des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem kennfeldbasierten Verfahren gezeigt. Wie in Figur 3 umfasst der Prädiktionszeitraum jeweils eine Zeitdauer T. Mit 24 ist die Spannungsgrenze bezeichnet, die nicht unterschritten werden sollte. Der Graph 26 zeigt den Verlauf der Batteriespannung U in Abhängigkeit von der Zeit t bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Der Graph 28 zeigt den Verlauf der Batteriespannung U in Abhängigkeit von der Zeit t bei Anwendung des kennfeldbasierten Verfahrens.

Die Diagramme verdeutlichen die dynamische Anpassung der Stromgrenze im Vergleich zur herkömmlichen Stromprädiktion. Die dynamische Methode garantiert durch Berücksichtigung des exponentiellen Terms für die Spannung an dem weiteren Glied (RC-Glied) das Verbleiben innerhalb der Spannungsgrenzen und berücksichtigt jeweils die kumulierte Belastung für den nächsten Prädiktionszeitraum, während die herkömmliche Berechnung am Ende des ersten Prädiktionszeitraums für den folgenden Zeitraum einen zu hohen Maximalstrom ausgibt, da sie nicht auf den aktuellen Systemzustand reagieren kann.

Es ist möglich, die Stromgrenze oder die Spannungsgrenze mit einem beliebigen Applikationsvorbehalt zu versehen. Sowohl die Zeiträume als auch die Spannungsgrenzen sind während der Laufzeit applizierbar. Die prädizierten Stromwerte können sowohl für die Stromprädiktion während des Fahrzeugbetriebs als auch für die Laderegelung verwendet werden.

Ansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines über einen Prädiktionszeitraum (T) maximal verfügbaren Konstantstroms (I_{lim}) einer Batterie, dadurch gekennzeichnet, dass
das Verfahren folgende Schritte umfasst:
Ermitteln (10) eines Batteriezustands, und
Bestimmen (14) der Lösung einer Differentialgleichung, die die zeitliche Entwicklung des Batteriezustands im Verlauf des Prädiktionszeitraums (T) mithilfe eines Ersatzschaltbildmodells beschreibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der maximal verfügbare Konstantstrom (I_{lim}) derjenige Konstantstrom ist, bei dem am Ende des Prädiktionszeitraums (T) eine Grenze (U_{lim}) für einen Betriebsparameter der Batterie, insbesondere für eine Zellspannung, erreicht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Verfahren ferner umfasst:
Berechnen des maximal verfügbaren Konstantstroms (I_{lim}) durch Einsetzen (16) einer Grenze (U_{lim}) für eine Zellspannung in die Lösung der Differentialgleichung.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Ersatzschaltbildmodell durch eine Reihenschaltung eines ersten Widerstandes (R_s) und eines weiteren Gliedes gegeben ist, wobei das weitere Glied durch eine Parallelschaltung eines zweiten Widerstandes (R_f) und einer Kapazität (C_f) gegeben ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Ermitteln (10) des Batteriezustands Ermitteln geeigneter Werte für den ersten Widerstand (R_s), den zweiten Widerstand (R_f), die Kapazität (C_f) und die an dem weiteren Glied anliegende Spannung (U_f) umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei beim Bestimmen der Lösung der Differentialgleichung vorausgesetzt wird, dass der erste Widerstand (R_s), der zweite Widerstand (R_f) und die Kapazität (C_f) über den Prädiktionszeitraum (T) hinweg konstant sind.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei beim Bestimmen der Lösung der Differentialgleichung vorausgesetzt wird, dass der von der Batterie gelieferte Strom über den Prädiktionszeitraum (T) hinweg konstant ist.

8. Batteriemanagementeinheit, die dazu ausgebildet ist, das Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche auszuführen.

9. Batteriemanagementeinheit nach Anspruch 8, umfassend:
Mittel zum Ermitteln des Batteriezustands, und
eine Steuereinheit, die dazu ausgebildet ist, die Lösung der Differentialgleichung zu bestimmen.

10. Batterie mit einer Batteriemanagementeinheit nach einem der Ansprüche 8 oder 9.

11. Batterie nach Anspruch 10, wobei die Batterie eine Lithium-Ionen-Batterie ist.

12. Kraftfahrzeug, insbesondere elektrisches Kraftfahrzeug, umfassend eine Batteriemanagementeinheit nach einem der Ansprüche 8 oder 9 oder eine Batterie nach einem der Ansprüche 10 oder 11.

FIG. 1

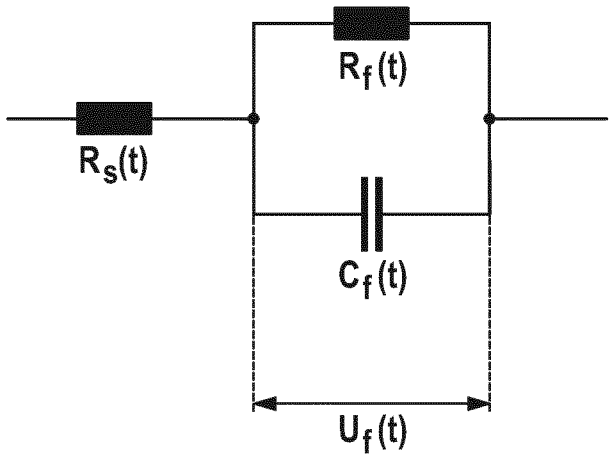

$R_f(t)$
$R_s(t)$
$C_f(t)$
$U_f(t)$

FIG. 2

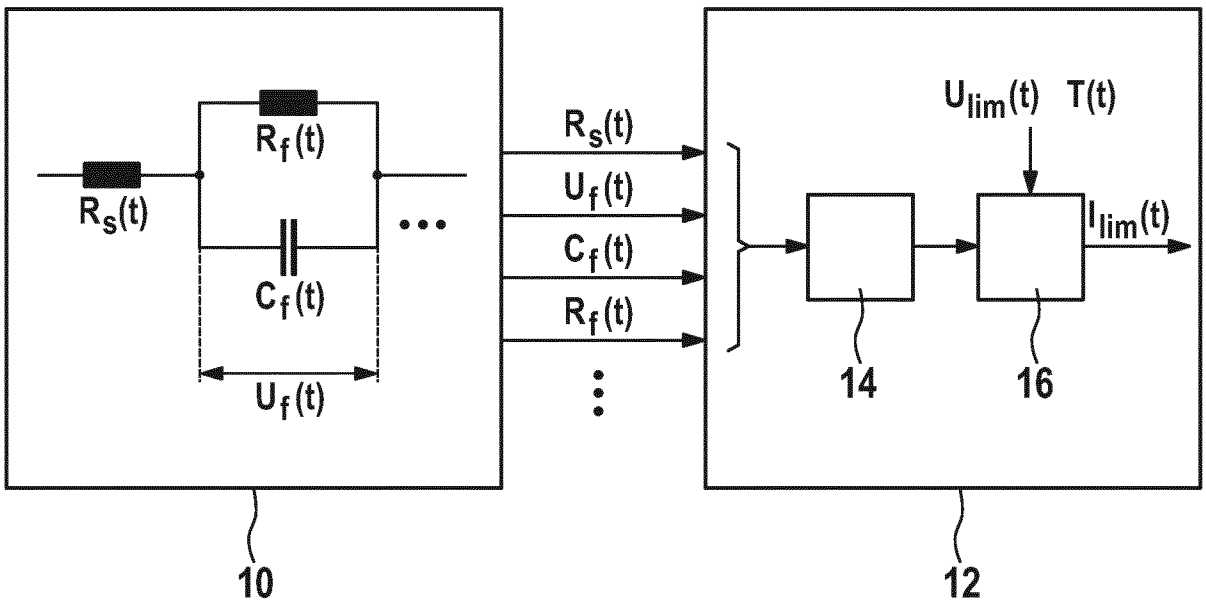

$R_f(t)$
$R_s(t)$
$C_f(t)$
$U_f(t)$
$R_s(t)$
$U_f(t)$
$C_f(t)$
$R_f(t)$
$U_{lim}(t)$
$T(t)$
$I_{lim}(t)$
14
16
10
12

FIG. 3

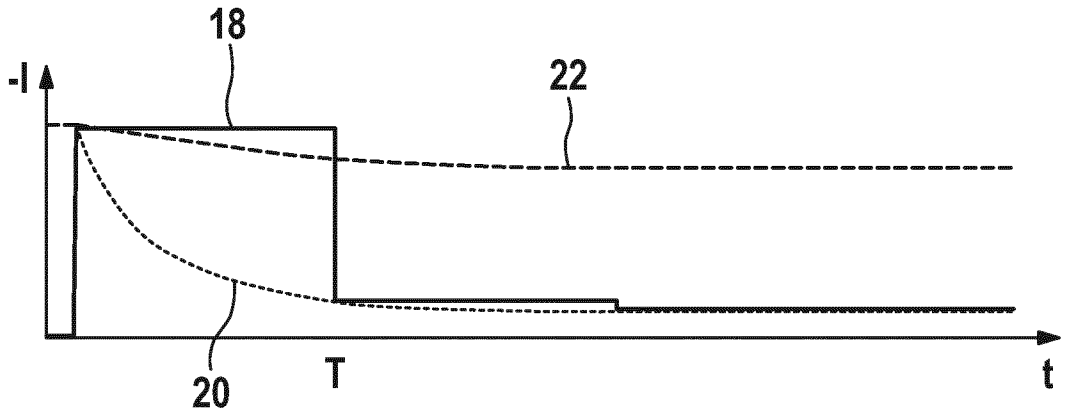
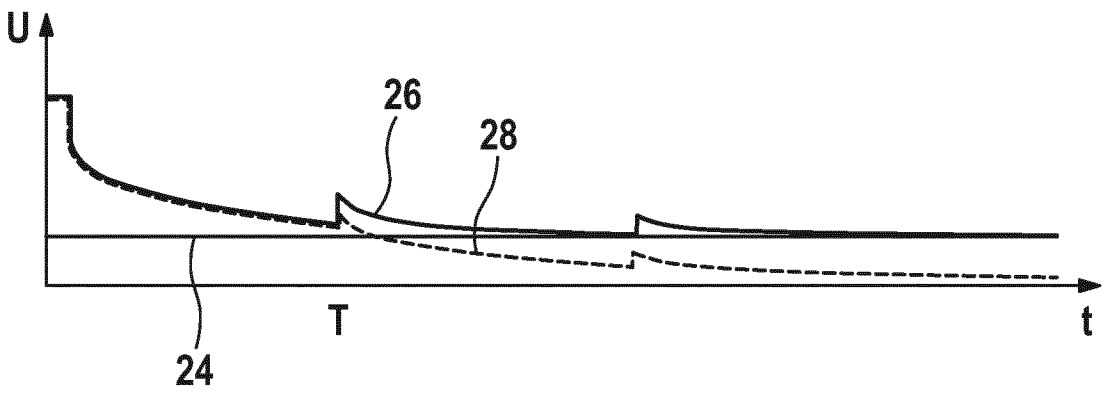


FIG. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/056175

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R31/36
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2005 050563 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 26 April 2007 (2007-04-26) the whole document	1-12
A	DE 10 2008 004368 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19 February 2009 (2009-02-19) cited in the application the whole document	1-12
A	US 2005/110498 A1 (PLETT GREGORY L [US]) 26 May 2005 (2005-05-26) the whole document	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 July 2012	08/08/2012

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jedlicska, István

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/056175

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005050563 A1	26-04-2007	DE 102005050563 A1	26-04-2007
		EP 1941290 A1	09-07-2008
		JP 2009512845 A	26-03-2009
		KR 20080068659 A	23-07-2008
		US 2009306915 A1	10-12-2009
		WO 2007045673 A1	26-04-2007
DE 102008004368 A1	19-02-2009	NONE	
US 2005110498 A1	26-05-2005	BR PI0416652 A	16-01-2007
		CA 2547012 A1	02-06-2005
		CN 1883097 A	20-12-2006
		EP 1692754 A1	23-08-2006
		JP 4722857 B2	13-07-2011
		JP 2007517190 A	28-06-2007
		KR 20060107535 A	13-10-2006
		RU 2336618 C2	20-10-2008
		TW I281298 B	11-05-2007
		US 2005110498 A1	26-05-2005
		US 2008094035 A1	24-04-2008
		US 2010174500 A1	08-07-2010
		WO 2005050810 A1	02-06-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/056175

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R31/36
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2005 050563 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 26. April 2007 (2007-04-26) das ganze Dokument	1-12
A	DE 10 2008 004368 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19. Februar 2009 (2009-02-19) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-12
A	US 2005/110498 A1 (PLETT GREGORY L [US]) 26. Mai 2005 (2005-05-26) das ganze Dokument	1-12

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
31. Juli 2012	08/08/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jedlicska, István

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/056175

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005050563 A1	26-04-2007	DE 102005050563 A1	26-04-2007
		EP 1941290 A1	09-07-2008
		JP 2009512845 A	26-03-2009
		KR 20080068659 A	23-07-2008
		US 2009306915 A1	10-12-2009
		WO 2007045673 A1	26-04-2007
DE 102008004368 A1	19-02-2009	KEINE	
US 2005110498 A1	26-05-2005	BR PI0416652 A	16-01-2007
		CA 2547012 A1	02-06-2005
		CN 1883097 A	20-12-2006
		EP 1692754 A1	23-08-2006
		JP 4722857 B2	13-07-2011
		JP 2007517190 A	28-06-2007
		KR 20060107535 A	13-10-2006
		RU 2336618 C2	20-10-2008
		TW I281298 B	11-05-2007
		US 2005110498 A1	26-05-2005
		US 2008094035 A1	24-04-2008
		US 2010174500 A1	08-07-2010
		WO 2005050810 A1	02-06-2005