

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50104/2012
(22) Anmeldetag: 28.03.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.10.2013

(51) Int. Cl. : **G01R 31/36** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 8041522 B2 EP 1220413 B1
WO 2006057468 A1
JP 2001078365 A

(73) Patentanmelder:
AVL LIST GMBH
8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
Gu Yingzhe
Shanghai (CN)
KURTULUS CAN
ISTANBUL (TR)
Dohr Markus
Graz (AT)
Breitegger Philipp
Graz (AT)
Kortschak Bernhard
Eibiswald 316 (AT)

(54) **Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung, insbesondere einer elektrochemischen Batterie, basierend auf einem berechneten Ladezustand SOC und einer durch die zeitliche Integration des Stromes i gebildeten Ladung Q der Energiespeichervorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird. Um möglichst einfach und genau die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung ermitteln zu können, ist vorgesehen, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird.

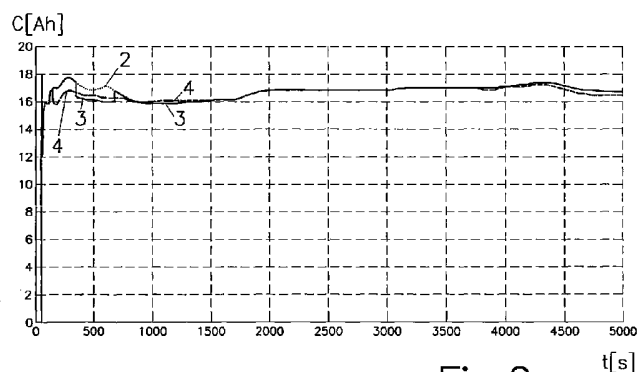


Fig.2

t[s]

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung, insbesondere einer elektrochemischen Batterie, basierend auf einem berechneten Ladezustand SOC und einer durch die zeitliche Integration des Stromes i gebildeten Ladung Q der Energiespeichervorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird. Um möglichst einfach und genau die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung ermitteln zu können, ist vorgesehen, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird.

Fig. 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung, insbesondere einer elektrochemischen Batterie, basierend auf einem berechneten Ladezustand SOC und einer durch die zeitliche Integration des Stromes i gebildeten Ladung Q der Energiespeichervorrichtung.

Die Kapazität einer Batterie wird üblicherweise nach folgender Gleichung berechnet:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta SOC} = \frac{Q_2 - Q_1}{SOC_2 - SOC_1},$$

wobei Ladung Q die Ladung in [Ah] und SOC der Ladezustand SOC (State-of-Charge) normiert zwischen 0 und 1 ist, und C die Kapazität C der Batterie in [Ah] ist.

Der Ladezustand SOC wird über einen Algorithmus bestimmt, der nicht auf einer Ladungsintegration basiert. Die Berechnung des Ladezustands ist nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Methoden für die Berechnung des Ladezustands SOC findet man z.B. in der Veröffentlichung S. Piller, M. Perrin, A. Jossen, "Methods for state-of-charge determination and their applications", Journal of Power Sources 96, p. 113-120, 2001. Eine mögliche Methode wäre hier zufolge z.B. die Verwendung eines Kalman-Filters für die Berechnung des Ladezustands, wobei sowohl Strom- als auch Spannungswerte berücksichtigt werden und die Kapazität in dem hinterlegten Modell auf einen konstanten Wert gesetzt wird.

Die Kapazitätsbestimmung anhand der angeführten Formel hat aber die folgenden Nachteile:

- Es werden jeweils nur zwei Werte für die Ladung und für den Ladezustand berücksichtigt. Eine punktuelle Ungenauigkeit verschlechtert dementsprechend das Ergebnis. Das heißt, es handelt sich nicht um ein Verfahren, in welchem alle Messgrößen über der Zeit Einfluss auf das Ergebnis haben.
- Die Berechnung ist ungenau, wenn es nur kleine Änderungen im Ladezustand SOC gibt, bzw. wenn der Anfangs- und Endwert im betrachteten Zeitraum

zufällig beieinander liegen. In beiden Fällen erfolgt eine Division durch einen kleinen Wert ($SOC2-SOC1$).

- In der Regel wird man daher über mehrere Messungen mitteln, wobei idealerweise ein gewichtetes Mittel, je nach Genauigkeit der einzelnen Kapazitätsbestimmung, verwendet werden sollte.
- Weiteres kann nach der Berechnungsmethode von oben eine Abweichung in der Strommessung große Fehler verursachen.

Eine ähnliche Methode wird auch in der EP 1 220 413 B1 vorgestellt, wobei die Kapazitätsermittlung nur zu festgelegten Zeitpunkten erfolgt, so zum Beispiel erst nach einer Vollladung der Batterie.

Weiters wird in US 8,041,522 B2 eine rekursive Methode präsentiert, um die Kapazität zu schätzen, wobei mit differentiellen Werten gearbeitet wird, so zum Beispiel mit dem Unterschied im Ladezustand zwischen zwei Zeitpunkten oder mit dem Ladungsumsatz in einem Rechenschritt.

Die bekannten Methoden haben den Nachteil, dass sie relativ ungenau sind.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, diesen Nachteil zu vermeiden und auf möglichst einfache Weise eine genaue Abschätzung der Kapazität einer Energiespeichervorrichtung zu ermöglichen.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird, und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird. Vorzugsweise wird die Kapazität C mittels einer rekursiven lineare Regression berechnet.

Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren verwendet das hier vorgestellte Verfahren die gesamte vorliegende Information, um einen Zusammenhang zwischen Ladung Q und Ladezustand SOC herzustellen. Es werden somit alle

Messgrößen kontinuierlich erfasst und zu jedem Zeitpunkt in der Berechnung berücksichtigt.

Dabei wird – zum Unterschied etwa zur US 8,041,522 B1 - mit integralen Werten gearbeitet, zum Beispiel mit dem Ladezustand SOC, oder mit der Ladung Q seit dem Beginn der Messung. Die Auswertung von integralen Größen bietet den Vorteil, dass eine ungenaue, numerische Differenzierung des Signals vermieden wird.

Vorzugsweise wird beim erfindungsgemäßen Verfahren zu jedem Zeitpunkt das folgende Optimierungsproblem gelöst, um eine aktuelle Schätzung für die Batteriekapazität zu bekommen:

$$x_{opt} = \min_x |A * x - SOC|$$

mit $A = [Q \quad Q_{off} \quad 1]$ und $x = \begin{bmatrix} 1/C \\ -i_{off}/C \\ SOC0 \end{bmatrix}$ ist, wobei

- SOC ... ein Vektor mit dem Ladezustand über Zeit in [%/100]
- Q ... ein Vektor mit dem integrierten Strom i über Zeit in [Ah]
- Q_{off} ... ein Vektor mit der Auswirkung einer Abweichung in der Strommessung von 1A in [h]
- \bar{i} ... ein Vektor, alle Elemente haben den Wert 1
- C ... ein Skalar für die Kapazität der Batterie in [Ah]
- i_{off} ... ein Skalar für den Offset in der Strommessung in [A]
- $SOC0$... ein Skalar für dem initialen Ladezustand der Batterie in [%/100]

ist.

Ein Offset i_{off} in der Strommessung wird in der hier vorgestellten Methode somit explizit berücksichtigt. Dies ist insofern wichtig, da schon eine kleine Abweichung

im Strom i über die Zeit hinweg zu großen Fehlern führen kann. Der Offset i_off in der Strommessung kann dabei auf einen konstanten Wert gesetzt werden oder auf einen maximalen oder minimalen Wert begrenzt werden.

Von Bedeutung ist, dass es nicht notwendig ist, die oben genannten Vektoren (Q , Q_off , SOC) auch abzuspeichern, da das Optimierungsproblem iterativ und sehr effizient über die Zeit gelöst werden kann. Als iterative Methode hat sich die Rekursive Lineare Regression (Rekursive Least Squares, Rekursive Kleinste Quadrate) bewährt. Hierzu kann das Optimierungsproblem umgeformt und die Berechnung von x_opt wie folgt vorgenommen werden:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & Q_k = Q_{k-1} + i_k \cdot dt / 3600 \\
 2) \quad & Q_off_k = Q_off_{k-1} + 1 \cdot dt / 3600 \\
 3) \quad & A_k^T A_k = A_{k-1}^T A_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_off_k \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_k & Q_off_k & 1 \end{bmatrix} \\
 4) \quad & A_k^T b_k = A_{k-1}^T b_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_off_k \\ 1 \end{bmatrix} \cdot SOC_k \\
 5) \quad & x_opt_k = (A_k^T A_k)^{-1} A_k^T b_k
 \end{aligned}$$

Als Eingangsgrößen benutzt das Verfahren den gemessenen Strom i und den ermittelten Ladezustand SOC jeweils zum Zeitschritt k . Aus dem letzten Rechenschritt werden die folgenden Größen übernommen: $A_{k-1}^T A_{k-1}$ (eine 3x3 Matrix) und $A_{k-1}^T b_{k-1}$ (ein 3x1 Vektor).

Die einzelnen Verfahrensschritte sind wie folgt (siehe Gleichungen oben):

1. Die Ladung Q wird für den Zeitpunkt k neu berechnet, indem der aktuelle Strom i multipliziert mit der Zeitschrittweite dt zu der Ladung im vorherigen Rechenschritt hinzugezählt wird.
2. Ähnlich wie im Schritt 1 wird die Abweichung der Ladung Q_off , verursacht durch den fiktiven Strom von 1A in der Strommessung, neu berechnet.
3. Die Systemmatrix $A^T A$ wird für den Rechenschritt k mit den neuen Werten Q und Q_off aktualisiert.

4. Der Vektor $A^T b$ wird für den aktuellen Rechenschritt k mit den neuen Werten Q , Q_{off} und SOC aktualisiert. Die Berechnung des Ladungszustandes SOC ist nicht Bestandteil der vorliegenden Erfindung.
5. Für den aktuellen Zeitschritt wird eine optimale Lösung des Optimierungsproblems berechnet. Der aktuell beste Schätzwert der Kapazität kann aus dem Lösungsvektor x_{opt} abgelesen werden. Die Kapazität ist gleich dem Kehrwert des ersten Eintrags in x_{opt} .

Um eine Verbesserung der Genauigkeit zu erreichen, kann weiters vorgesehen sein, dass eine Kapazitätsbestimmung nur dann durchgeführt wird, wenn vordefinierte Randbedingungen erfüllt sind. So ist es vorteilhaft, wenn die Kapazitätsbestimmung erst nach einer definierten Mindestmessdauer t_{min} , durchgeführt wird, wobei vorzugsweise die Mindestmessdauer t_{min} mindestens 1000 Sekunden beträgt. Dadurch können numerische Probleme zu Messbeginn vermieden werden.

Eine Verbesserung der Qualität der Kapazitätsbestimmung lässt sich weiters erreichen, wenn das Optimierungsproblem an Hand einer gekürzten Singularwertzerlegung ("Truncated Singular Value Decomposition", TSVD) regularisiert wird. Als weitere Bedingung kann vorgesehen sein, dass der unbekannte Offset in der Strommessung, vorzugsweise zwischen -200mA und $+200\text{mA}$, beschränkt wird.

Die rekursive Berechnung kann eventuell auch mittels Vergessensfaktor und mit einer Gewichtung der Messwerte erweitert werden.

Der gemessene Strom i kann auch vor der Berechnung der Batterieladung Q um einen Strom i_{korrr} , verursacht durch Sekundärreaktionen (zum Beispiel Gasung bei Bleibatterien oder NiMH Batterien) korrigiert werden. Hierdurch kann eine noch genauere Kapazitätsbestimmung durchgeführt werden.

Die Erfindung wird im Folgenden an Hand eines Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen Fig.1a den berechnete Ladezustand SOC einer Energiespeichervorrichtung, über der Zeit t aufgetragen, Fig 1b die Ladung Q , über der Zeit t aufgetragen, Fig. 1c das über der Zeit t integrierte Offset i_{off} der Strommessung, Fig. 1d den Anfangs-Ladezustand SOC_0 der

Energiespeichervorrichtung und Fig. 2 die mit der erfindungsgemäßen Methode bestimmte Kapazität C der Energiespeichervorrichtung, über der Zeit t aufgetragen.

In der hier vorgestellten Berechnung wird zu jedem Zeitpunkt k das folgende Optimierungsproblem gelöst, um eine aktuelle Schätzung für die Batteriekapazität zu bekommen:

$$x_{opt} = \min_x |A * x - SOC|$$

mit

$$A = \begin{bmatrix} Q & Q_{off} & 1 \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} 1/C \\ -i_{off}/C \\ SOC0 \end{bmatrix} .$$

Der Vektor x_{opt} beinhaltet die Lösung des Optimierungsproblems und besteht aus der ermittelten Kapazität C der Batterie, dem geschätzten Offset in der Strommessung (i_{off}) und dem anfänglichen Ladezustand der Batterie ($SOC0$).

Die Größen sind wie folgt definiert:

- SOC ... Vektor mit dem Ladezustand über Zeit in [%/100] (Fig. 1a)
- Q ... Vektor mit dem integrierten Strom über Zeit in [Ah] (Fig. 1b)
- Q_{off} ... Vektor mit der Auswirkung einer Abweichung in der Strommessung von 1A (in [h], Fig. 1c)
- $\bar{1}$... Vektor, alle Elemente haben den Wert 1 (Fig. 1d)
- C ... Skalar für die Kapazität der Batterie in [Ah]
- i_{off} ... Skalar für den Offset in der Strommessung in [A]
- $SOC0$... Skalar für den initialen Ladezustand der Batterie in [%/100]

Vereinfacht kann man sich die Lösung auch als grafisches Problem vorstellen, wie an Hand der Fig. 1 erläutert wird. Hierzu versucht man, die Kurve SOC in Fig. 1a möglichst gut als Linearkombination der Kurven Q , i_{off} und 1 in den Fig. 1b, 1c und 1d darzustellen. Die Koeffizienten der Linearkombination für die beste Übereinstimmung im Sinne einer quadratischen Abweichung sind dann genau die Einträge im Vektor x_{opt} . Diese Methode ist auch als Lineare Regression bekannt.

In den ersten 1000 Sekunden des angeführten Beispiels liegen nur sehr wenige Informationen vor. Dies äußert sich in numerischen Problemen bei der Lösung des Optimierungsproblems, das heißt, die Systemmatrix $A^T A$ ist schlecht konditioniert. Aus diesem Grund ist es notwendig, das Problem zu "regularisieren". Hierzu werden folgende Methoden vorgeschlagen (Details findet man hierzu in C.R. Vogel, Computational Methods for Inverse Problems, 2002):

- Es erfolgt nur dann eine Kapazitätsbestimmung, wenn genug Informationen vorhanden sind (Fig. 2, Kurve 2).
- Es erfolgt eine Regularisierung des Problems anhand einer "Truncated Singular Value Decomposition" (TSVD, Fig. 2, Kurve 3).
- Es wird der unbekannte Offset i_{off} in der Strommessung beschränkt, z.B. zwischen -200mA und 200mA (Fig. 2, Kurve 4), da höhere Abweichungen unrealistisch sind.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, unterscheiden sich die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren nur in den ersten Minuten der Berechnung. Nach einer gewissen Zeit erzielt man mit allen Verfahren einen guten Schätzwert für die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung.

Weiters kann die rekursive Berechnung auch mittels Vergessensfaktor und mit einer Gewichtung der Messwerte erweitert werden.

Der gemessene Strom i kann auch vor der Berechnung der Ladung Q um einen Strom i_{korr} verursacht durch Sekundärreaktionen (zum Beispiel Gasung bei Bleibatterien oder NiMH Batterien) korrigiert werden. Hierdurch kann eine noch genauere Kapazitätsbestimmung durchgeführt werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung, insbesondere einer elektrochemischen Batterie, basierend auf einem berechneten Ladezustand SOC und einer durch die zeitliche Integration des Stromes i gebildeten Ladung Q der Energiespeichervorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und der integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C mittels einer rekursiven lineare Regression berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung aus der Lösung folgenden Optimierungsproblems bestimmt wird:

$$x_{opt} = \min_x |A * x - SOC|,$$

$$\text{mit } A = [Q \quad Q_{off} \quad 1] \text{ und } x = \begin{bmatrix} 1/C \\ -i_{off}/C \\ SOC_0 \end{bmatrix} \text{ ist, wobei}$$

$SOC \dots$ ein Vektor mit dem Ladezustand über Zeit in [%/100]

$Q \dots$ ein Vektor mit dem integrierten Strom i über Zeit in [Ah]

$Q_{off} \dots$ ein Vektor mit der Auswirkung einer Abweichung in der Strommessung von 1A in [h]

$\bar{i} \dots$ ein Vektor, alle Elemente haben den Wert 1

- C ... ein Skalar für die Kapazität der Batterie in [Ah]
- i_{off} ... ein Skalar für den Offset in der Strommessung in [A]
- $SOC0$... ein Skalar für den initialen Ladezustand der Batterie in [%/100]

ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ladung Q_k für den aktuellen Zeitpunkt k , berechnet wird, indem der aktuelle Strom i multipliziert mit der Zeitschrittweite dt zu der Ladung Q_{k-1} des vorigen Rechenschrittes hinzugezählt wird, nach folgender Gleichung:

$$Q_k = Q_{k-1} + i_k \cdot dt / 3600.$$

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung der Ladung Q_{off} , verursacht durch einen definierten fiktiven Strom von vorzugsweise 1A, in der Strommessung, nach folgender Gleichung:

$$Q_{off_k} = Q_{off_{k-1}} + 1 \cdot dt / 3600.$$

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Systemmatrix $A^T A$ für den aktuellen Rechenschritt k mit den neuen Werten für die Ladung Q und die Abweichung der Ladung Q_{off} aktualisiert wird:, nach folgender Gleichung:

$$A_k^T A_k = A_{k-1}^T A_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_{off_k} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_k & Q_{off_k} & 1 \end{bmatrix}.$$

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Vektors $A^T b$ für den aktuellen Rechenschritt k mit den neuen Werten für die Ladung Q , die Abweichung der Ladung Q_{off} und den Ladezustand SOC aktualisiert wird, nach folgender Gleichung:

$$A_k^T b_k = A_{k-1}^T b_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_off_k \\ 1 \end{bmatrix} \cdot SOC_k.$$

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für den aktuellen Zeitpunkt eine optimale Lösung des Optimierungsproblems berechnet wird, nach folgender Gleichung:

$$x_opt_k = (A_k^T A_k)^{-1} A_k^T b_k$$

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kapazitätsbestimmung nur dann durchgeführt wird, wenn vordefinierte Randbedingungen erfüllt sind.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitätsbestimmung erst nach einer definierten Mindestmessdauer t_{min} , durchgeführt wird, wobei vorzugsweise die Mindestmessdauer t_{min} mindestens 1000 Sekunden beträgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Optimierungsproblem an Hand einer gekürzten Singularwertzerlegung regularisiert wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der unbekannte Offset i_off in der Strommessung, vorzugsweise zwischen -200mA und $+200\text{mA}$, beschränkt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte des Stromes i und/oder die ermittelten Werte der Ladung SOC mittels zumindest eines Vergessensfaktor und/oder eines Gewichtungsfaktors gewichtet werden, wobei vorzugsweise aktuellere Messwerte höher gewichtet werden, als ältere.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom i vor der Integration durch einen Korrekturstrom i_{kor} korrigiert

wird, wobei der Korrekturstrom auf Grund von Sekundärreaktionen in der Energiespeichervorrichtung bestimmt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Offset i_{off} in der Strommessung auf einen konstanten Wert gesetzt wird oder auf einen maximalen oder minimalen Wert begrenzt wird.

2012 03 28

Fu

0055

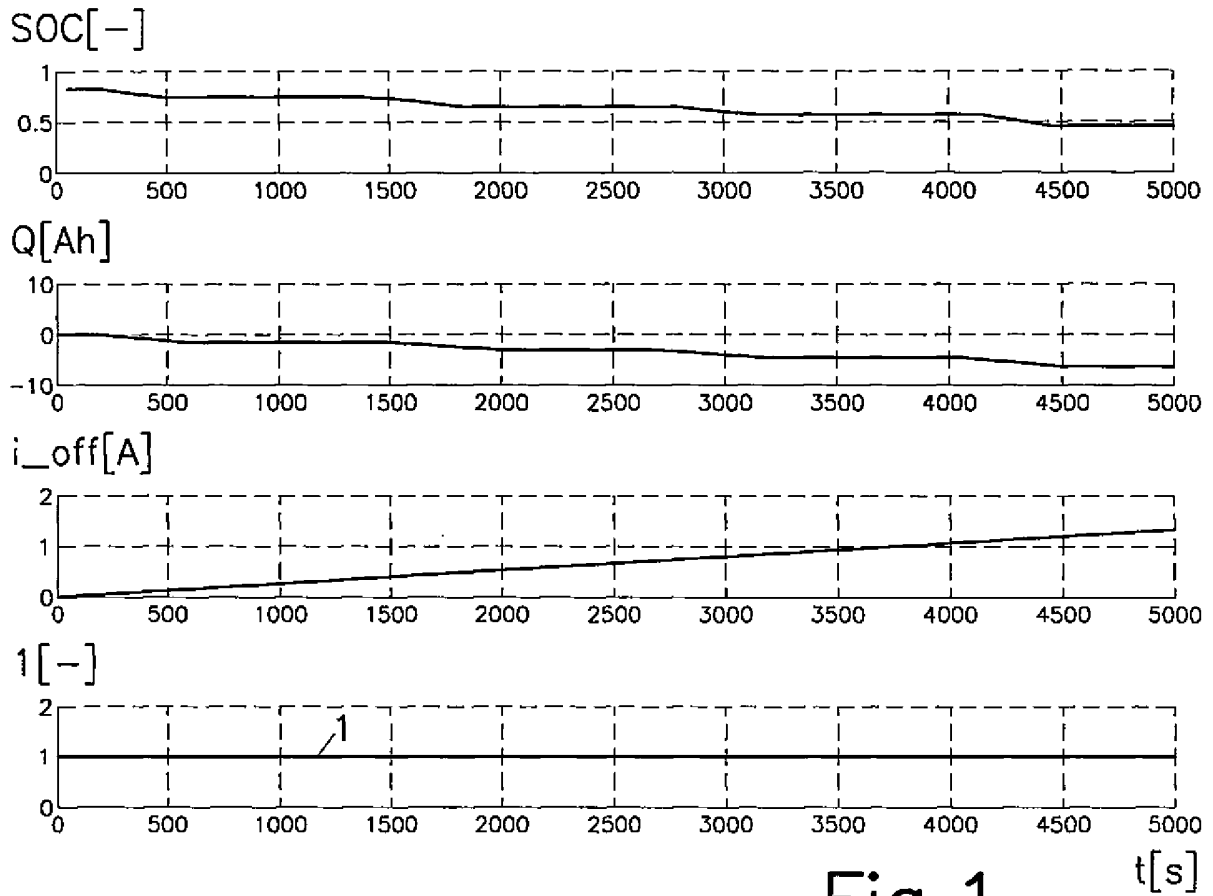


Fig.1

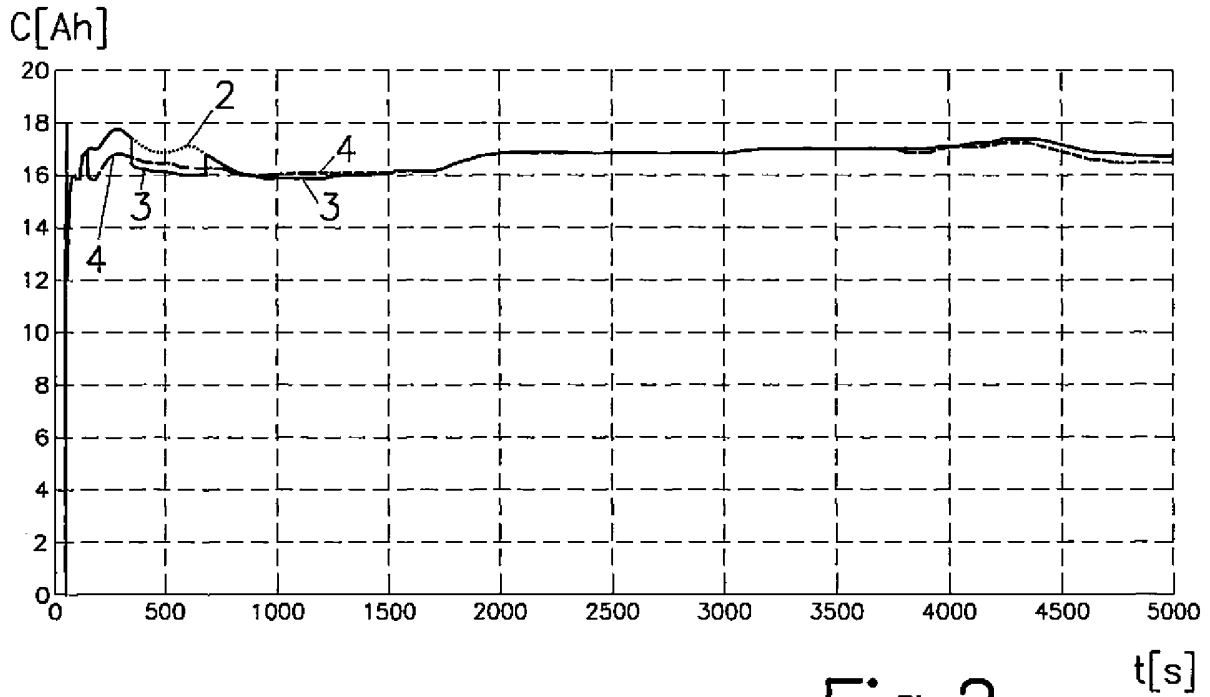


Fig.2

NACHGEREICHT

~~(neue)~~ PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung der Kapazität C einer Energiespeichervorrichtung, insbesondere einer elektrochemischen Batterie, basierend auf einem berechneten Ladezustand SOC und einer durch die zeitliche Integration des Stromes i gebildeten Ladung Q der Energiespeichervorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung iterativ berechnet wird, indem in jedem Rechenschritt für einen aktuellen Zeitpunkt k der aktuelle Strom i gemessen und der Ladezustand SOC der Energiespeichervorrichtung berechnet wird und in jedem Rechenschritt eine Kapazitätsschätzung durchgeführt wird, indem der integrierte Strom Q und ein integrierte Strommessfehler Q_{off} in Relation zum berechneten Ladezustand SOC gesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C mittels einer rekursiven lineare Regression berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität C der Energiespeichervorrichtung aus der Lösung folgenden Optimierungsproblems bestimmt wird:

$$x_{opt} = \min_x |A * x - SOC|,$$

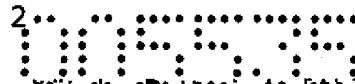
mit $A = [Q \quad Q_{off} \quad 1]$ und $x = \begin{bmatrix} 1/C \\ -i_{off}/C \\ SOC0 \end{bmatrix}$ ist, wobei

SOC ... ein Vektor mit dem Ladezustand über Zeit in [%/100]

Q ... ein Vektor mit dem integrierten Strom i über Zeit in [Ah]

Q_{off} ... ein Vektor mit der Auswirkung einer Abweichung in der Strommessung von 1A in ~~+~~ [Ah]

\hat{i} ... ein Vektor, alle Elemente haben den Wert 1



$C \dots$ ein Skalar für die Kapazität der Batterie in [Ah]

$I_{off} \dots$ ein Skalar für den Offset in der Strommessung in [A]

$SOCO \dots$ ein Skalar für den initialen Ladezustand der Batterie in [%/100]

ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ladung Q_k für den aktuellen Zeitpunkt k , berechnet wird, indem der aktuelle Strom i multipliziert mit der Zeitschrittweite dt zu der Ladung Q_{k-1} des vorigen Rechenschrittes hinzugezählt wird, nach folgender Gleichung:

$$Q_k = Q_{k-1} + i_k \cdot dt / 3600.$$


5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung der Ladung Q_{off} ^{<aktualisiert wird>} verursacht durch einen definierten fiktiven Strom von vorzugsweise 1A, in der Strommessung, nach folgender Gleichung:

$$Q_{off_k} = Q_{off_{k-1}} + 1 \cdot dt / 3600.$$

6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Systemmatrix $A^T A$ für den aktuellen Rechenschritt k mit den neuen Werten für die Ladung Q und die Abweichung der Ladung Q_{off} aktualisiert wird, nach folgender Gleichung:

$$A_k^T A_k = A_{k-1}^T A_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_{off_k} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_k & Q_{off_k} & 1 \end{bmatrix}.$$

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Vektors $A^T b$ für den aktuellen Rechenschritt k mit den neuen Werten für die Ladung Q , die Abweichung der Ladung Q_{off} und den Ladezustand SOC aktualisiert wird, nach folgender Gleichung:



$$A_k^T b_k = A_{k-1}^T b_{k-1} + \begin{bmatrix} Q_k \\ Q_off_k \\ 1 \end{bmatrix} \cdot SOC_k.$$

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für den aktuellen Zeitpunkt eine optimale Lösung des Optimierungsproblems berechnet wird, nach folgender Gleichung:

$$x_opt_k = (A_k^T A_k)^{-1} A_k^T b_k$$

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kapazitätsbestimmung nur dann durchgeführt wird, wenn vordefinierte Randbedingungen erfüllt sind.

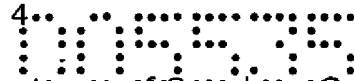
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitätsbestimmung erst nach einer definierten Mindestmessdauer t_{min} , durchgeführt wird, wobei vorzugsweise die Mindestmessdauer t_{min} mindestens 1000 Sekunden beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Optimierungsproblem an Hand einer gekürzten Singularwertzerlegung regularisiert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der unbekannte Offset i_off in der Strommessung, vorzugsweise zwischen - 200mA und +200mA, beschränkt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte des Stromes i und/oder die ermittelten Werte der Ladung SOC mittels zumindest eines Vergessensfaktor und/oder eines Gewichtungsfaktors gewichtet werden, wobei vorzugsweise aktuellere Messwerte höher gewichtet werden, als ältere.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom i vor der Integration durch einen Korrekturstrom i_{kor}

4. 

korrigiert wird, wobei der Korrekturstrom auf Grund von Sekundärreaktionen in der Energiespeichervorrichtung bestimmt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Offset i_{off} in der Strommessung auf einen konstanten Wert gesetzt wird oder auf einen maximalen oder minimalen Wert begrenzt wird.

2013 07 02

Fu/St

Patentanwalt

Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk

A-1150 Wien, Mariahilfer Gurtel 39/17

Tel.: (+43 1) 892 09 33-0 Fax: (+43 1) 892 09 33-33

e-mail: m.babeluk@patentanwalt.at



NACHGEREICHT

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: G01R 31/36 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß ECLA: G01R 31/36V1; Y02E 60/12		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G01R		
Konsultierte Online-Datenbank: WPI, EPODOC		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 28. März 2012 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.		
Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 8041522 B2 (PLETT, G.L.) 18. Oktober 2011 (18.10.2011) Zusammenfassung, Fig. 1, 2, 4, 5; Spalte 2, Zeile 51 - Spalte 6, Zeile 45.	1-15
A	EP 1220413 B1 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 04. März 2009 (04.03.2009) Fig. 1-3; Absätze [0014], [0022]-[0046].	1-15
A	WO 2006057468 A1 (LG CHEM, LTD.) 01. Juni 2006 (01.06.2006) Zusammenfassung, Fig. 11, 12; Seite 31, Zeile 28 - Seite 44, Zeile 24.	1-15
A	JP 2001078365 A (NIPPON SOKEN INC.) 23. März 2001 (23.03.2001) Zusammenfassung, Fig. 1-3.	1-15
Datum der Beendigung der Recherche: 26. Februar 2013		<input type="checkbox"/> Fortsetzung siehe Folgeblatt
		Prüfer(in): LOIBNER K.
¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist. A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein älteres Recht hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		