



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 035 858 A1 2006.02.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 035 858.3

(22) Anmeldetag: 23.07.2004

(43) Offenlegungstag: 16.02.2006

(51) Int Cl.⁸: G01R 31/36 (2006.01)

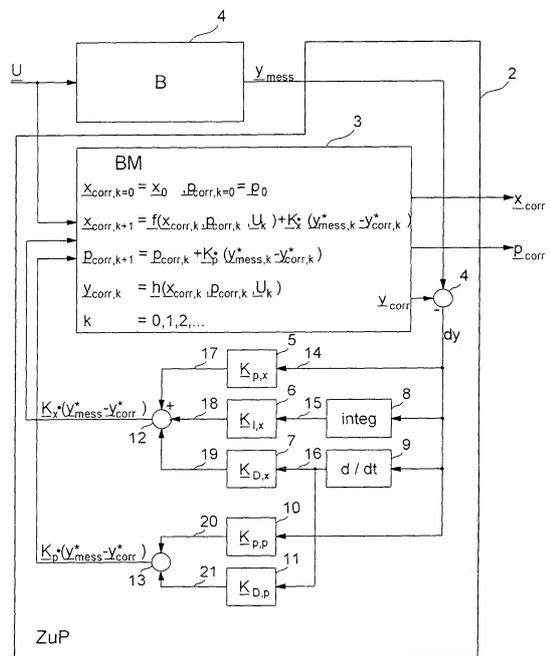
(71) Anmelder:
 Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
 Schoch, Eberhard, 70469 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Zustands- und Parameterschätzer mit Integral- und Differentialanteil für elektrische Energiespeicher

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ermitteln von Zustandsgrößen (x) und/oder Parametern (p) eines mathematischen Energiespeichermodells (3), insbesondere eines Batteriemodells, das die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers (1) anhand verschiedener Zustandsgrößen (x) und Parameter (p) beschreibt, wobei das mathematische Energiespeichermodell (3) Korrekturgleichungen aufweist, mittels der die Zustandsgrößen (x) und/oder Parameter (p) korrigiert und auf das tatsächliche Verhalten des Energiespeichers (1) abgeglichen werden. Ein besonders schneller und exakter Abgleich des Energiespeichermodells (3) kann erreicht werden, wenn der Fehler (dy) zwischen einer gemessenen Batterie-Betriebsgröße (y_{mess}) und der vom Energiespeichermodell (3) berechneten Batterie-Betriebsgröße (y_{corr}), ein differenzierter Anteil (15) des Fehlers (dy) sowie ein integrierter Anteil (16) des Fehlers (dy) berechnet, die einzelnen Anteile (14-16) jeweils mit einem Gewichtungsfaktor (K) gewichtet und die gewichteten Anteile (17-21) bei der Korrektur einer Zustandsgröße (x) und/oder eines Parameters (p) berücksichtigt werden.



Beschreibung**Aufgabenstellung**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ermitteln von Zustandsgrößen und/oder Parametern eines mathematischen Energiespeichermodells, insbesondere eines Batteriemodells, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie ein entsprechendes Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 5.

Stand der Technik

[0002] In elektrischen Netzen, wie z.B. Kfz-Bordnetzen, die von einer Batterie mit elektrischer Energie versorgt werden, ist es insbesondere unter sicherheitstechnischen Aspekten wichtig, die aktuelle Leistungsfähigkeit der Batterie zu kennen. Im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik ist es bekannt, aus den aktuellen Betriebsgrößen der Batterie, insbesondere der Batteriespannung, dem Batteriestrom und der Batterietemperatur, den Ladezustand (SOC) oder den Alterungszustand (SOH) der Batterie zu berechnen. Diese Art der Batteriezustandserkennung ergibt zwar eine Aussage über den Ladezustand bzw. Alterungszustand der Batterie, nicht jedoch über die tatsächlich aktuell abgebbare Leistung und entnehmbare Ladung der Batterie. Aus diesem Grund wurden bereits mathematische Energiespeichermodelle vorgeschlagen, mit denen die Belastbarkeit bzw. entnehmbare Ladung eines elektrischen Energiespeichers genauer bestimmt werden kann. Dabei handelt es sich um mathematische Modelle, die die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers anhand verschiedener mathematischer Beziehungen darstellen. Die mathematischen Beziehungen beschreiben funktionale Zusammenhänge zwischen verschiedenen Zustandsgrößen, wie z.B. Batterie internen Spannungen, Strömen, etc. und umfassen verschiedene Parameter, die das elektrische und gegebenenfalls auch das thermische Verhalten des Energiespeichers abbilden.

[0003] Bekannte Batteriemodelle umfassen üblicherweise einen in einem Steuergerät als Software hinterlegten Zustandsgrößen- und Parameterschätzer, mit dem die verschiedenen Zustandsgrößen und Parameter des Energiespeichermodells berechnet werden, sowie eine Vorhersageeinrichtung (Prädiktor), der unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Belastungsprofils, wie z.B. eines Stromverlaufs oder Lastverlaufs, eine Vorhersage über einen zukünftigen Batteriezustand (z.B. eine Batteriespannung) oder über die aus der Batterie entnehmbare Ladung, treffen kann. Bekannte Zustandsgrößen- und Parameterschätzer liefern jedoch relativ ungenaue Ergebnisse für die gewünschten Parameter, insbesondere für die Kapazität oder den Innenwiderstand der Batterie, und sind daher für eine Modellbasierte Prädiktion nicht geeignet, oder sie sind relativ kompliziert aufgebaut.

[0004] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Zustandsgrößen- und Parameterschätzer für elektrische Energiespeicher zu schaffen, der das Betriebsverhalten des elektrischen Energiespeichers genauer abbildet und somit eine bessere Prädiktion von Batteriegrößen oder -Parametern ermöglicht.

[0005] Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 sowie im Patentanspruch 5 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0006] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Batterie-Betriebsgröße (z.B. den Batteriestrom oder die Klemmenspannung) mit Hilfe eines mathematischen Batteriemodells zu berechnen, bei dem sowohl ein proportionaler, ein integraler als auch ein differentieller Anteil eines Fehlers zwischen einer gemessenen Batterie-Betriebsgröße (Batteriespannung, -strom oder -temperatur) und der vom mathematischen Energiespeichermodell berechneten Batterie-Betriebsgröße ermittelt wird, die einzelnen Fehleranteile jeweils mit einem individuellen Gewichtungsfaktor zu gewichten und die gewichteten Anteile zu Korrekturzwecken in das Energiespeichermodell zurückzukoppeln. Jeder Zustandsgröße und jedem Parameter sind vorzugsweise eigene Gewichtungsfaktoren zugeordnet. Das Energiespeichermodell umfasst verschiedene Korrekturgleichungen, mittels der die Zustandsgrößen und/oder Parameter des Batteriemodells unter Berücksichtigung der gewichteten Fehleranteile dann korrigiert werden können, um sie auf das tatsächliche Verhalten des Energiespeichers abzugleichen. Auf der Grundlage der so ermittelten korrigierten Zustandsgrößen und Parameter können dann wiederum verschiedene Batteriegrößen, wie z.B. der Ladezustand oder die aus der Batterie entnehmbare Ladung berechnet oder durch Modellbasierte Prädiktion verschiedene Batteriegrößen vorhergesagt werden.

[0007] Ein derartiger Zustandsgrößen- und Parameterschätzer mit Rückkoppelung eines proportionalen, integralen und differenzierten, und gewichteten Fehleranteils hat den wesentlichen Vorteil, dass dynamische Fehler insbesondere durch den differenzierten Anteil, sowie statische (Offset-) Fehler insbesondere durch den Integralanteil wesentlich besser kompensiert werden können. Die zusätzliche Rückkoppelung und Berücksichtigung des differenzierten als auch des integralen Fehleranteils hat eine wesentlich höhere Korrekturwirkung als z.B. eine alleinige Rückkoppelung des Proportionalanteils, d.h. des absoluten Fehlers. Dadurch können die Zustandsgrößen und Parameter des Batteriemodells exakter und eindeutiger bestimmt und der zukünftige Batterie-

riezustand genauer vorhergesagt werden als mit einer rein proportionalen Fehlerrückkoppelung.

[0008] Bei schnellen Laständerungen kann beispielsweise der ohmsche Innenwiderstand durch die Rückkopplung des gewichteten Fehlerdifferentials genauer ermittelt werden, da dadurch dynamische Fehler verstärkt zur Korrektur des Innenwiderstands beitragen. In vergleichbarer Weise werden Fehler von Zustandsgrößen oder Parametern, die einen statischen Offsetfehler zwischen modellierten und gemessenen Betriebsgrößen verursachen (z.B. eine Abweichung des Anfangsladezustands vom realen Wert) insbesondere durch den integralen Fehleranteil besser kompensiert.

[0009] Die Gewichtung der einzelnen rückgekoppelten Fehleranteile erfolgt vorzugsweise Arbeitspunkt abhängig. Der Arbeitspunkt ist dabei allgemein durch die aktuellen Werte der Eingangsgrößen (Batteriespannung, -strom oder -temperatur) und der Zustandsgrößen des Batteriemodells definiert. Durch eine Arbeitspunkt abhängige Gewichtung der rückgekoppelten Fehleranteile ist es z.B. möglich, für die Korrektur der Zustandsgröße "Innenwiderstand" im Ladebetrieb der Batterie nur den differenzierten Fehleranteil und im Entladebetrieb alle drei Fehleranteile zu berücksichtigen. Dies ist bei der Korrektur des Innenwiderstands sinnvoll, da im Ladefall die üblichen Batteriemodelle den absoluten Verlauf der Batterie-Betriebsgrößen im Gegensatz zu ihren relativen Änderungen nur ungenau nachbilden.

[0010] Die Arbeitspunkt abhängige Gewichtung der rückgekoppelten Fehleranteile ist vorzugsweise derart realisiert, dass diejenige Zustandsgröße bzw. derjenige Parameter am stärksten korrigiert wird, die bzw. der sich im jeweiligen Arbeitspunkt am stärksten auf den zeitlichen Verlauf, den integrierten Verlauf oder den differenzierten Verlauf der abzugleichenden Batterie-Betriebsgröße auswirkt. Dadurch kann der Fehler zwischen gemessener Betriebsgröße und modellbasiert berechneter Betriebsgröße schnell kompensiert werden.

[0011] Darüber hinaus wird der integrierte Fehleranteil vorzugsweise dann nicht zur Korrektur einer Zustandsgröße oder eines Parameters berücksichtigt, wenn deren Korrekturgleichungen bereits ein Integralverhalten aufweisen. So wird z.B. bei der Korrektur der Ruhespannung oder des Innenwiderstands der integrierte Fehleranteil vorzugsweise nicht berücksichtigt.

[0012] Der erfindungsgemäße Zustandsgrößen- und Parameterschätzer umfasst vorzugsweise ein einziges Energiespeichermodell, das für den gesamten Arbeitsbereich des Energiespeichers Gültigkeit hat. Eine Verwendung unterschiedlicher Teilmodelle für verschiedene Arbeitsbereiche ist in diesem Fall

nicht erforderlich, wodurch der Aufwand für die Erstellung des Energiespeichermodells wesentlich geringer wird.

Ausführungsbeispiel

[0013] Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

[0014] [Fig. 1](#) die prinzipielle Struktur eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0015] [Fig. 2](#) ein Ersatzschaltbild eines Bleiakkumulators; und

[0016] [Fig. 3](#) die prinzipielle Struktur eines Innenwiderstands-Schätzers.

[0017] [Fig. 1](#) zeigt eine Blockdarstellung der wesentlichen Funktionen eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers **2**, der dazu dient, verschiedene Zustandsgrößen x , Parameter p und Betriebsgrößen y eines Batteriemodells **3** zu berechnen. Die ermittelten Zustandsgrößen x und Parameter p können dann zur Berechnung verschiedener Batteriegrößen, wie z.B. des Ladezustands, der Leistungsfähigkeit, der entnehmbaren Ladung, etc., sowie zur Prädiktion der Batteriegrößen genutzt werden.

[0018] Das Batteriemodell **3** ist ein mathematisches Modell, das die auf verschiedenen physikalischen Effekten beruhenden elektrischen oder thermischen Eigenschaften der Batterie anhand verschiedener mathematischer Modelle darstellt. Die mathematischen Modelle beschreiben funktionale Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen, wie beispielsweise Spannungen, Strömen, Temperatur, etc. und umfassen verschiedene Parameter p .

[0019] Das Batteriemodell **3** ist im vorliegenden Beispiel als universelles Modell realisiert, das das Verhalten der Batterie **1** im gesamten Arbeitsbereich beschreibt.

[0020] Das Batteriemodell **3** verarbeitet eine oder mehrere Eingangsgrößen u und berechnet daraus die Zustandsgrößen x und Parameter p , die den aktuellen Zustand der Batterie **1** beschreiben. Unter der Bezeichnung „Eingangsgröße“ werden dabei eine, maximal zwei der externen Messgrößen „Batteriestrom“ $I_{\text{Bat,mess}}$, „Batterietemperatur“ $T_{\text{Bat,mess}}$ und „Batteriespannung“ $U_{\text{Bat,mess}}$ verstanden.

[0021] Daneben erzeugt das Batteriemodell **3** eine Ausgangsgröße y_{corr} , die am Knoten **4** von einer gemessenen Betriebsgröße y_{mess} der Batterie **1** subtrahiert wird. Die Ausgangsgröße y_{corr} ist dabei eine geschätzte Batterie-Betriebsgröße (Strom $I_{\text{Bat,mess}}$, Tem-

peratur $T_{\text{Bat,mess}}$, Spannung $U_{\text{Bat,mess}}$) die auch als Messgröße zur Verfügung steht, jedoch ohne die als Eingangsgröße u verwendete Betriebsgröße.

[0022] Der am Knoten **4** berechnete Fehler dy zwischen der Modell basiert berechneten Betriebsgröße y_{corr} und der gemessenen Betriebsgröße y_{mess} (z. B. Batteriestrom $I_{\text{Bat,mess}}$, Batteriespannung $U_{\text{Bat,mess}}$ oder Batterietemperatur $T_{\text{Bat,mess}}$) wird dann für jede Zustandsgröße x und jeden Parameter p individuell weiterverarbeitet und in das Batteriemodell **3** rückgekoppelt. Im Rückkoppelpfad des Batteriemodells ist ein Integrator **8** und ein Differenzierer **9** vorgesehen, die den absoluten Fehler dy integrieren bzw. differenzieren. Ferner sind Gewichtungseinheiten **5–7**, **10**, **11** vorgesehen, die die einzelnen Fehleranteile (den absoluten Fehler **14**, den integrierten Fehler **15** und den differenzierten Fehler **16**) für jede Zustandsgröße x und jeden Parameter p individuell gewichten. Die einzelnen Zustandsgrößen x und Parameter p werden im Batteriemodell **3** mittels Korrekturgleichungen ($x_{\text{corr},k+1} = \dots$, $p_{\text{corr},k+1} = \dots$) solange korrigiert, bis der Fehler dy kompensiert ist.

[0023] Das Verhalten der Batterie kann zur Implementierung in einem digitalen Rechner allgemein als nicht lineares zeitdiskreten Differenzengleichungssystem erster Ordnung dargestellt werden, wobei gilt:

$$\underline{x}_{k=0} = \underline{x}_0 \quad (1)$$

$$\underline{x}_{k+1} = \underline{f}(\underline{x}_k, \underline{p}, \underline{u}_k) \quad (2)$$

$$\underline{y}_k = \underline{h}(\underline{x}_k, \underline{p}, \underline{u}_k) \quad (3)$$

$k = 0, 1, \dots$
wobei

- \underline{u}_k = Vektor der Eingangsgrößen des Energiespeichermodells **3** im Zeitschritt k (mindestens eine, maximal zwei der gemessenen Batterie-Betriebsgrößen $I_{\text{Bat,mess}}$, $U_{\text{Bat,mess}}$, $T_{\text{Bat,mess}}$).
- \underline{x}_k = Vektor der Zustandsgrößen des Energiespeichermodells **3** im Zeitschritt k , wie z.B. die Ruhespannung U_{C0} , die Durchtrittspolarisation U_{D} , Konzentrationspolarisation \underline{u}_k mit dem Startwert \underline{x}_0 .
- \underline{y}_k = Vektor der Ausgangsgrößen des Energiespeichermodells **3** im Zeitschritt k , und umfasst modellierte Betriebsgrößen y , die auch als Messgrößen y_{mess} zur Verfügung stehen, jedoch ohne die als Eingangsgrößen \underline{u}_k verwendeten Betriebsgrößen.
- \underline{p} = Vektor der zu schätzenden Parameter des Energiespeichermodells **3**.
- $\underline{f}(\underline{x}_k, \underline{p}, \underline{u}_k)$ = rechte Seite der Zustandsdifferenzgleichungen des Energiespeichermodells **3** und
- $\underline{h}(\underline{x}_k, \underline{p}, \underline{u}_k)$ = Vektor der Ausgangsgleichungen des Energiespeichermodells **3**.

[0024] Das Batteriemodell **3** arbeitet im wesentlich wie folgt:

Die Zustandsgrößen x und Parameter p werden zunächst auf einen Anfangszustand x_0 bzw. p_0 initialisiert und im Falle eines Fehlers dy zwischen der geschätzten und der gemessenen Ausgangsgröße y korrigiert. Das Batteriemodell umfasst hierzu Korrekturgleichungen ($x_{\text{corr},k+1} = \dots$, $p_{\text{corr},k+1} = \dots$), die unter Berücksichtigung des proportionalen **14**, integrierten **15** und differenzierten **16** Fehlers dy korrigierte Zustandsgrößen $\underline{x}_{\text{corr}}$, korrigierte Parameter $\underline{p}_{\text{corr}}$ und korrigierte Ausgangsgrößen $\underline{y}_{\text{corr}}$ berechnen. Die einzelnen Fehleranteile **14–16** werden, wie erwähnt, mittels eines im Rückkoppelpfad angeordneten Integrators **8** und eines Differenzierers **9** erzeugt und anschließend individuell und Arbeitspunkt abhängig gewichtet. Die Gewichtungsfaktoren sind jeweils mit dem Buchstaben K bezeichnet, wobei der Index p den Gewichtungsfaktor K_p für den proportionalen Fehleranteil **14**, der Index I den Gewichtungsfaktor K_I für den integrierten Anteil **15** und der Index D den Gewichtungsfaktor K_D für den differenzierten Fehleranteil **16** bezeichnet. Die gewichteten Fehleranteile **17–19** werden schließlich am Knoten **12** addiert und zur Korrektur der Zustandsgrößen \underline{x} in das Batteriemodell **3** rückgekoppelt.

[0025] Für die Korrektur der Parameter p sind ebenfalls Gewichtungseinheiten **10**, **11** vorgesehen, die den proportionalen Fehleranteil **14** und den differenzierten Fehleranteil **16** gewichten. Der integrierte Fehleranteil **15** wird bei der Korrektur der Parameter p nicht berücksichtigt, da die Korrekturgleichungen der Parameter, wie z.B. des Innenwiderstands R_i

oder der Ruhespannung U_{C0} bereits ein Integralverhalten aufweisen.

[0026] Die gewichteten Fehleranteile **20**, **21** werden wiederum an einem Knoten **13** addiert und in das Batteriemodell **3** rückgekoppelt.

[0027] Für die Korrektur der Zustandsgrößen x_{corr} , Parameter p_{corr} und Ausgangsgrößen y_{corr} gelten folgende Beziehungen:
Anfangswerte:

$$x_{corr,0} = x_0, p_{corr,0} = p_0 \quad (4)$$

$$x_{corr} = \underline{x} + \underline{K}_{p,x} \cdot (y_{mess} - y_{corr}) + \underline{K}_{i,x} \cdot \int (y_{mess} - y_{corr}) dt + \dots \underline{K}_{D,x} \cdot d(y_{mess} - y_{corr})/dt \quad (5)$$

$$p_{corr} = \underline{p} + \underline{K}_{p,p} \cdot (y_{mess} - y_{corr}) + \underline{K}_{i,p} \cdot \int (y_{mess} - y_{corr}) dt + \dots \underline{K}_{D,p} \cdot d(y_{mess} - y_{corr})/dt \quad (6)$$

$$y_{corr} = \underline{h}(x_{corr}, p_{corr}, \underline{u}) \quad (7)$$

[0028] Ersetzt man in Gleichung (5) \underline{x} durch $f(x_k, p, \underline{u}_k)$ gemäß Gleichung (2) und die Zustandsgrößen \underline{x} und Parameter \underline{p} in den Gleichungen (5), (6) in jedem Zeitschritt k durch die korrigierten Größen x_{corr} , p_{corr} erhält man die folgende rekursive Darstellung des Schätzalgorithmus:

$$x_{corr,k=0} = x_0, p_{corr,k=0} = p_0, \quad (8)$$

$$x_{corr,k+1} = f(x_{corr,k}, p_{corr,k}, \underline{u}_k) + \underline{K}_{p,x} \cdot (y_{mess,k} - y_{corr,k}) + \dots \underline{K}_{i,x} \cdot \text{Summe}(y_{mess,l} - y_{corr,l}) \cdot t_{sample} + \dots \underline{K}_{D,x} \cdot [(y_{mess,k} - y_{corr,k}) - (y_{mess,k-1} - y_{corr,k-1})]/t_{sample} \quad (9)$$

$$p_{corr,k+1} = p_{corr,k} + \underline{K}_{p,p} \cdot (y_{mess,k} - y_{corr,k}) + \dots \underline{K}_{i,p} \cdot [(y_{mess,k} - y_{corr,k}) - (y_{mess,k-1} - y_{corr,k-1})]/t_{sample} \quad (10)$$

$$y_{corr,k} = \underline{h}(x_{corr,k}, p_{corr,k}, \underline{u}_k) \quad (11)$$

$k = 0, 1, \dots$
mit $t_{sample} = \text{Abtastzeit}$

[0029] Bei der Parameterkorrektur in Gleichung (10) kann der Integralanteil entfallen, da sich durch den Ersatz der Modellparameter durch die korrigierten Größen eine rückgekoppelte Struktur mit Integralverhalten ergibt. Der Integralanteil kann auch für Zustandsgrößen entfallen, die bereits ein integrierendes Verhalten aufweisen, wie z.B. für die Ruhespannung U_{C0} .

[0030] Diese Struktur entspricht einem Zustandsbeobachter mit zusätzlicher Rückkoppelung des integrierten und differenzierten Ausgangsfehlers. Diese Gleichungen können in die Standardstruktur eines Zustandsbeobachters mit den Verstärkungsmatrizen \underline{K}_x und \underline{K}_p überführt werden:
Anfangswerte:

$$x_{corr,k=0} = x_0, p_{corr,k=0} = p_0 \quad (12)$$

$$x_{corr,k+1} = f(x_{corr,k}, p_{corr,k}, \underline{u}_k) + \underline{K}_x \cdot (y_{mess,k}^* - y_{corr,k}^*) \quad (13)$$

$$p_{corr,k+1} = p_{corr,k} + \underline{K}_p \cdot (y_{mess,k}^* - y_{corr,k}^*) \quad (14)$$

$$\underline{K}_x = [\underline{K}_{p,x} \quad \underline{K}_{i,x} \quad \underline{K}_{D,x}], \underline{K}_p = [\underline{K}_{p,p} \quad \underline{0} \quad \underline{K}_{D,p}] \quad (15)$$

$$y_{corr,k}^* = [y_{corr,k}; \text{Summe}(y_{corr,l}) \cdot t_{sample}; (y_{corr,k} - y_{corr,k-1})/t_{sample}] \quad (16)$$

$$y_{mess,k} = [y_{mess,k}; \text{Summe}(y_{mess,l}) \cdot t_{sample}; (y_{mess,k} - y_{mess,k-1})/t_{sample}] \quad (17)$$

$k = 0, 1, \dots$
mit $t_{sample} = \text{Abtastzeit}$

[0031] Die Verstärkungsmatrizen \underline{K}_x und \underline{K}_p , der Fehlerrückkopplungen können durch Polvorgabe entsprechend einem Luenberger-Beobachter oder durch Minimierung eines Gütekriteriums, wie z.B. der minimalen Schätzfehlervarianz (Kalman-Filter) bestimmt werden. Bei nicht linearen Modellen müssen die Modellgleichungen dazu zuvor um den aktuellen Arbeitspunkt linearisiert werden.

[0032] **Fig. 2** zeigt das Ersatzschaltbild eines Bleiakкумуляtors. Die Zählrichtung des Batteriestroms I_{Batt} ist wie üblich positiv für Laden und negativ für Entladen gewählt. Dabei wird zwischen Betriebsgrößen, Zustandsgrößen und Parametern unterschieden:

Betriebsgrößen:

- I_{Batt} = Batteriestrom
- U_{Batt} = Batteriespannung
- T_{Batt} = Batterietemperatur

Zustandsgrößen:

- U_{C0} = Ruhespannung
- U_K = Konzentrationspolarisation
- U_{Dp} = Durchtrittspolarisation der positiven Elektrode
- U_{Dn} = Durchtrittspolarisation der negativen Elektrode

Parameter:

- R_i = ohmscher Innenwiderstand, abhängig von der Ruhespannung U_{C0} , der Konzentrationspolarisation U_K und der Säuretemperatur T_{Batt}
- C_0 = Ersatzkapazität der Batterie
- R_k, C_k = Säurediffusionswiderstand bzw. -kapazität
- R_{Dp}, C_{Dp} = Widerstand und Kapazität der Doppelschicht der positiven Elektrode
- R_{Dn}, C_{Dn} = Widerstand und Kapazität der Doppelschicht der negativen Elektrode

[0033] Die einzelnen Größen sind zurückzuführen auf verschiedene physikalische Effekte der Batterie, die aus der Literatur hinreichend bekannt sind und daher nicht weiter erläutert werden.

[0034] **Fig. 3** zeigt die Struktur eines Zustandsgrößen- und Parameterschätzers **2**, der zur Berechnung des Innenwiderstands R_i eingerichtet ist. Der ohmsche Innenwiderstand R_i des Energiespeichers **1** ist eine entscheidende Größe bei der Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Batterie **1** und wird daher ständig überwacht.

[0035] Eingangsgroßen des Batteriemodells **3** sind in diesem Fall der gemessene Batteriestrom $I_{Batt,mess}$ und die Batterietemperatur $T_{Batt,mess}$. Ausgangsgröße des Batteriemodells **3** ist dabei die Batteriespannung U_{Batt} . Der Messfehler dU_{Batt} berechnet sich aus der geschätzten Batteriespannung U_{Batt} und der gemessenen Batteriespannung $U_{Batt,mess}$.

[0036] Zur Korrektur der Zustandsgrößen \underline{x} wird der Messfehler dU_{Batt} wiederum integriert (Einheit **8**) und differenziert (Einheit **9**) und die einzelnen Anteile **14**, **15**, **16** individuell gewichtet. Der gewichtete Messfehler $K_x \cdot (\dot{y}_{mess} - \dot{y}_{corr})$ wird dann zur Korrektur der Zustandsgrößen \underline{x} in das Batteriemodell **3** rückgekoppelt. Die Zustandsgrößen \underline{x} und der ohmsche Innenwiderstand R_i werden so abgeglichen, dass die einzelnen Fehleranteile **14–16** minimiert werden.

[0037] Bei der Korrektur des Innenwiderstands R_i und der Ruhespannung U_{co} wird der integrierte Messfehler dU_{Batt} nicht berücksichtigt, da deren Korrekturgleichungen bereits Integralverhalten aufweisen. Darüber hinaus wird der proportionale und integrierte Messfehler **14**, **15** vorzugsweise nur für den Entladefall rückgekoppelt und im Ladefall nicht berücksichtigt, um eine Fehladaption im Ladebetrieb aufgrund der größeren Modellgenauigkeit zu vermeiden. Der ohmsche Innenwiderstand R_i wird also beim Entladen sowohl durch den proportionalen als auch den differenzierten Fehler, beim Laden nur durch den differenzierten Fehler **16** korrigiert.

Bezugszeichenliste

1	Batterie
2	Zustandsgrößen- und Parameterschätzer
3	Batteriemodell
4	Subtrahierknoten
5–7	Verstärkungsfaktoren für die Zustandsgrößen
8	Integrator
9	Differenzierer
10,11	Verstärkungsfaktoren für die Parameter
12,13	Addierknoten
14	proportionaler Fehleranteil
15	integrierter Fehleranteil
16	differenzierter Fehleranteil

17–19	verstärkte Fehleranteile der Zustandsgrößen
20,21	gewichteter Fehler für die Parameterkorrektur
u	Eingangsgroßen
y_{mess}	gemessene Betriebsgrößen
y_{corr}	berechnete Betriebsgrößen
x_{corr}	berechnete Zustandsgrößen
p_{corr}	berechnete Parameter
dy	Fehler zwischen gemessener und geschätzter Betriebsgröße
K_p	Gewichtungsfaktor für den proportionalen Fehleranteil
K_i	Gewichtungsfaktor für den integrierten Fehleranteil
K_d	Gewichtungsfaktor für den differenzierten Fehleranteil
R_i	Innenwiderstand der Batterie
C₀	Ersatzkapazität der Batterie
R_k	Säurediffusionswiderstand
C_k	Säurediffusionskapazität
R_{Dp}	Widerstand der Doppelschicht der positiven Elektrode
R_{Dn}	Widerstand der Kapazität der Doppelschicht der negativen Elektrode
C_{Dp}	Kapazität der Doppelschicht der positiven Elektrode
C_{Dn}	Kapazität der Doppelschicht der negativen Elektrode
I_{Batt}	Batteriestrom
U_{Batt}	Batteriespannung
T_{Batt}	Batterietemperatur

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ermitteln von Zustandsgrößen (x) und/oder Parametern (p) eines mathematischen Energiespeichermodells (**3**), insbesondere eines Batteriemodells, das die elektrischen Eigenschaften des Energiespeichers (**1**) anhand verschiedener Zustandsgrößen (x) und Parameter (p) beschreibt, wobei das Energiespeichermodell (**3**) Korrekturgleichungen aufweist, mittels der die Zustandsgrößen (x) und/oder die Parameter (p) korrigiert und auf das tatsächliche Betriebsverhalten des Energiespeichers (**1**) abgeglichen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- der absolute Fehler (dy, **14**) zwischen einer gemessenen Batterie-Betriebsgröße (y_{mess}) und einer vom Energiespeichermodell (**3**) berechneten Batterie-Betriebsgröße (y_{corr}), ein differenzierter Anteil (**15**) des Fehlers (dy), sowie ein integrierter Anteil (**16**) des Fehlers (dy) berechnet,
- der proportionale Anteil (dy, **14**), der differenzierte Anteil (**15**) und der integrierte Anteil (**16**) jeweils mit einem Gewichtungsfaktor (K) gewichtet und

– die gewichteten Anteile (**17–21**) zur Korrektur der Zustandsgrößen (x) und/oder der Parameter (p) in das Energiespeichermodell (**3**) rückgekoppelt werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung des proportionalen (**14**), den integrierten (**15**) und/oder des differenzierten Anteils (**16**) arbeitspunktabhängig durchgeführt wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Energiespeichermodell (**3**) als ein universelles Modell realisiert ist, das für den gesamten Arbeitsbereich des Energiespeichers (**1**) Gültigkeit hat.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die arbeitspunktabhängige Gewichtung der einzelnen Fehleranteile derart realisiert ist, dass diejenige Zustandsgröße (x) bzw. derjenige Parameter (p) am stärksten korrigiert wird, die bzw. der sich im jeweiligen Arbeitspunkt am stärksten auf den zeitlichen Verlauf, den integralen Verlauf oder den differentiellen Verlauf der abzugleichenden Betriebsgröße (y_{mess}) auswirkt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der proportionale (**14**), der integrale (**15**) und/oder der differentielle (**16**) Anteil des Fehlers (dy) beim Laden der Batterie (**1**) anders gewichtet werden als beim Entladen der Batterie (**1**).

6. Verfahren zum Ermitteln von Zustandsgrößen (x) und/oder Parametern (p) eines mathematischen Energiespeichermodells (**3**), insbesondere eines Batteriemodells, das die elektrischen Eigenschaften eines Energiespeichers (**1**) anhand verschiedener Zustandsgrößen (x) und Parameter (p) beschreibt, wobei das mathematische Energiespeichermodell (**3**) Korrekturgleichungen aufweist, mittels der die Zustandsgrößen (x) und/oder die Parameter (p) korrigiert und auf das tatsächliche Betriebsverhalten der Batterie abgeglichen werden, dadurch gekennzeichnet, dass

– der Fehler zwischen einer gemessenen Batterie-Betriebsgröße (y_{mess}) und einer vom Energiespeichermodell (**3**) berechneten Batterie-Betriebsgröße (y_{corr}) berechnet,

– ein differenzierter Anteil (**15**) des Fehlers sowie ein integrierter Anteil (**16**) des Fehlers berechnet

– der proportionale Anteil (**14**), der differenzierte Anteil (**15**) und der integrierte Anteil (**16**) jeweils mit einem Gewichtungsfaktor (K) gewichtet, und

– die gewichteten Fehleranteile (**17–21**) zur Korrektur der Zustandsgrößen (x) und/oder der Parameter (p) in das Energiespeichermodell (**3**) rückgekoppelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekenn-

zeichnet, dass die Gewichtung des proportionalen (dy), den integrierten (**15**) und/oder des differenzierten Anteils (**16**) arbeitspunktabhängig durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Energiespeichermodell (**3**) als ein einziges Modell für den gesamten Arbeitsbereich des Energiespeichers (**1**) realisiert ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die arbeitspunktabhängige Gewichtung der einzelnen Fehleranteile derart realisiert ist, dass diejenige Zustandsgröße (x) bzw. derjenige Parameter (p) am stärksten korrigiert wird, die bzw. der sich im jeweiligen Arbeitspunkt am stärksten auf den zeitlichen Verlauf, den integralen Verlauf oder den differentiellen Verlauf der abzugleichenden Betriebsgröße (y_{mess}) auswirkt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

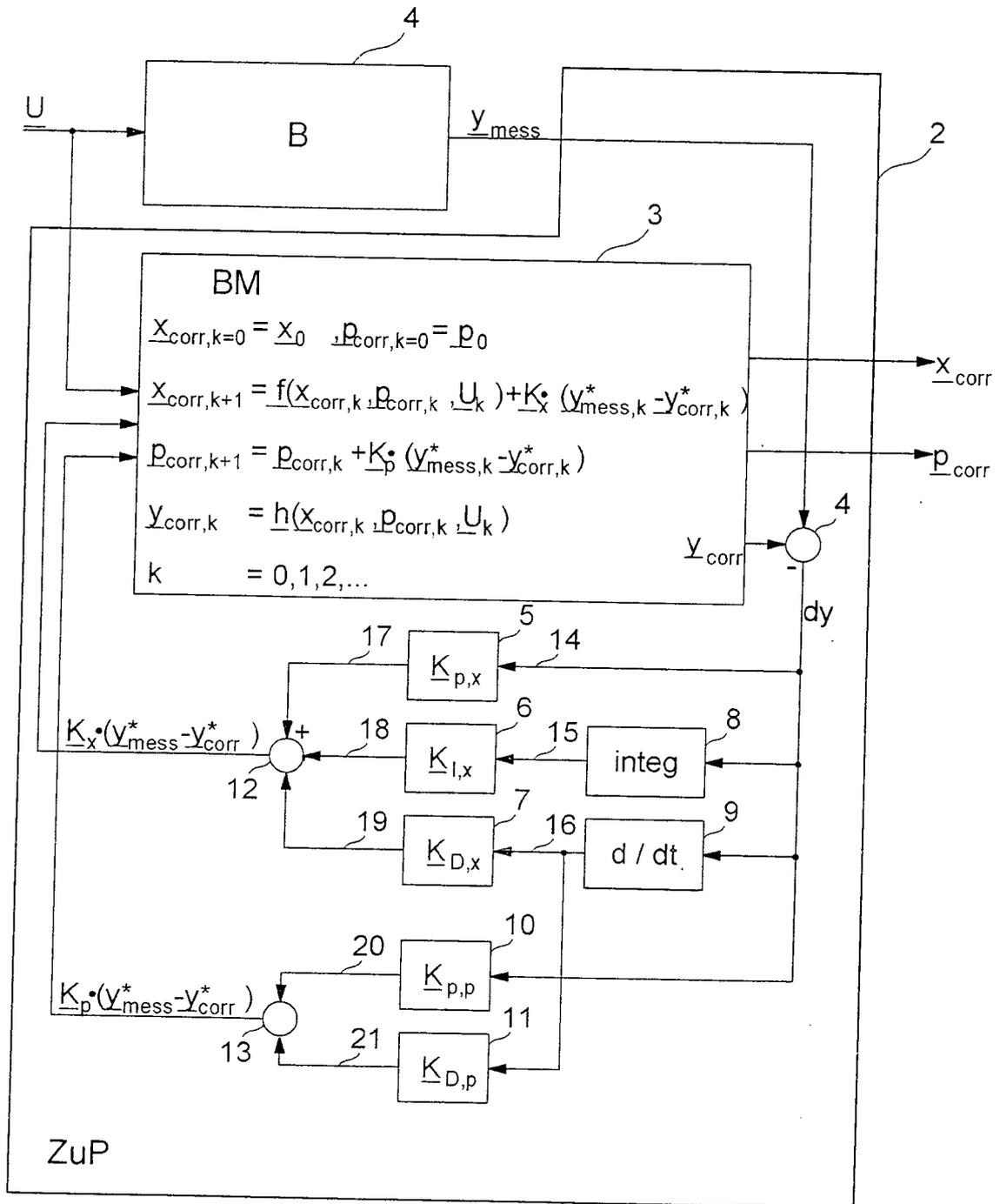


Fig. 1

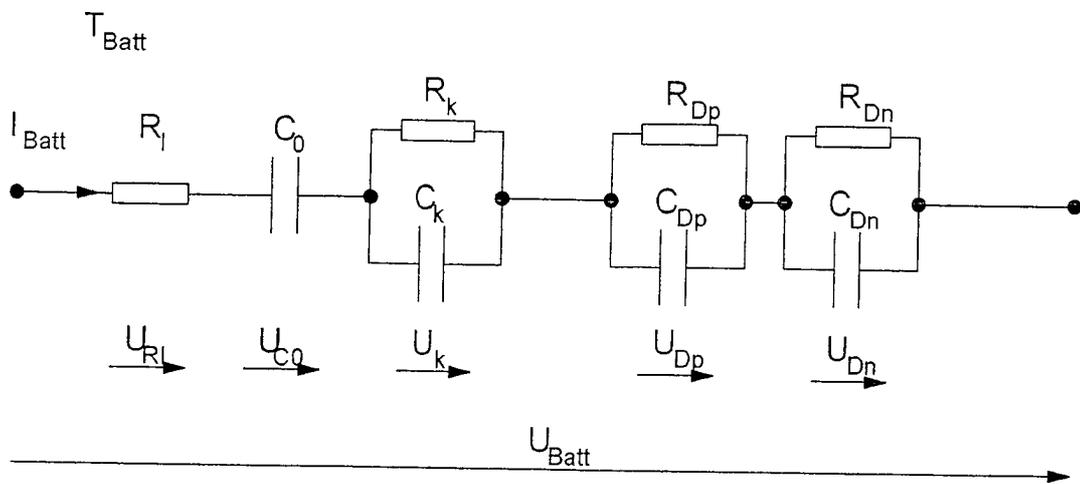


Fig. 2

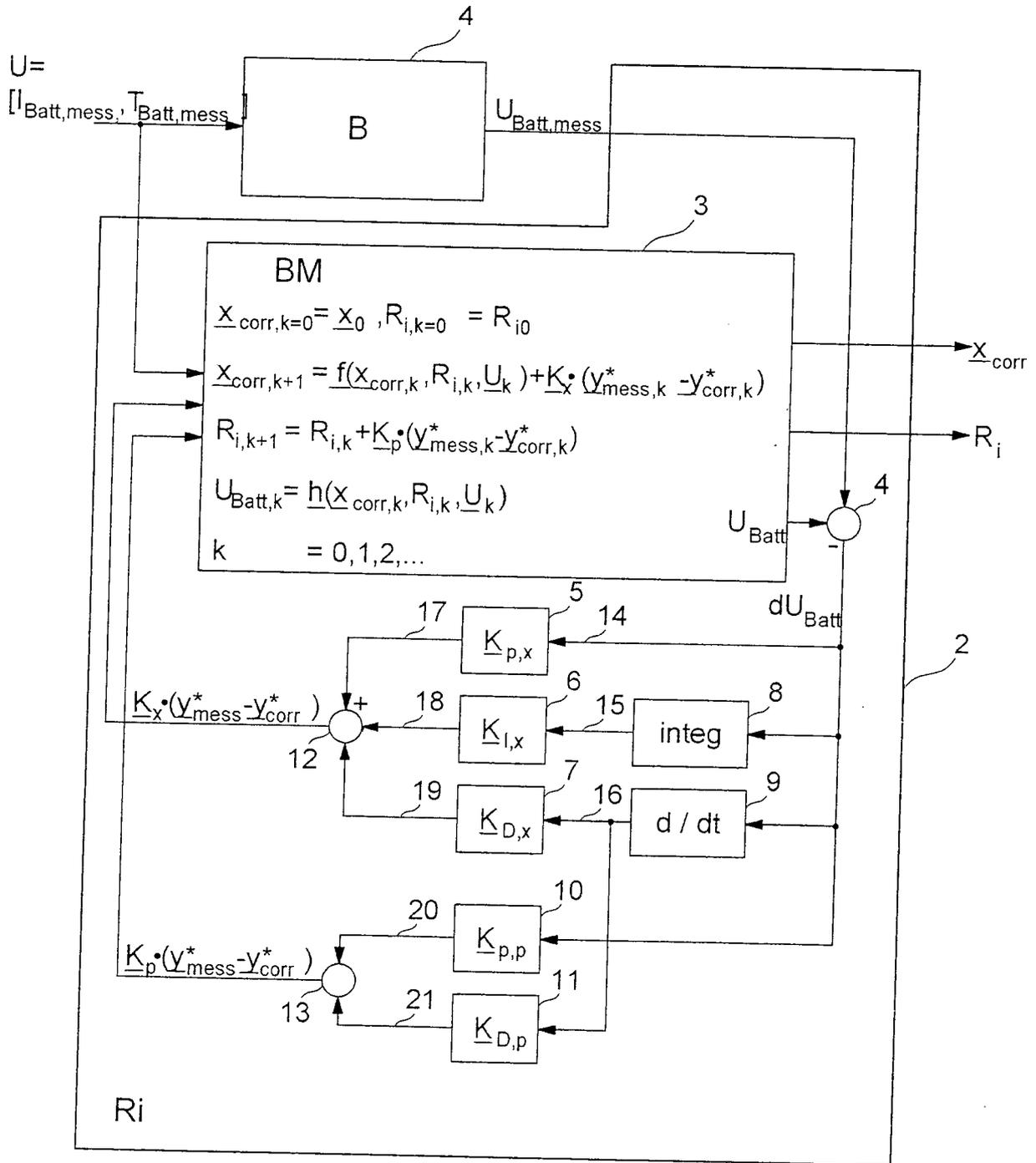


Fig. 3