



(10) **DE 10 2012 201 355 A1** 2013.08.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 201 355.5**

(22) Anmeldetag: **31.01.2012**

(43) Offenlegungstag: **01.08.2013**

(51) Int Cl.: **H02J 7/00 (2012.01)**
B60L 11/18 (2012.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE;
SAMSUNG SDI Co., LTD., Yongin-Si, Gyeonggi-do,
KR

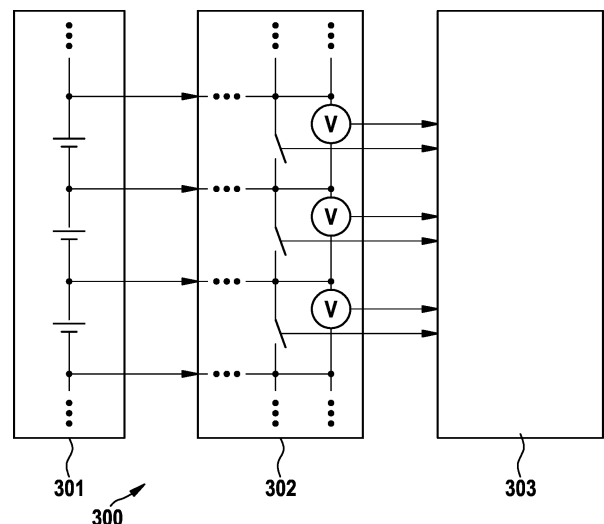
(72) Erfinder:
Becker, Jens, 70597, Stuttgart, DE; Boehm,
Andre, 70806, Kornwestheim, DE

(74) Vertreter:
Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179,
Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Balancieren von Batteriezellen, Batteriesystem sowie Kraftfahrzeug mit dem Batteriesystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Balancieren von Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_X , Z_{X+1}) einer Batterie mittels einer Mehrzahl von Schaltmitteln ($S(Z_{X-1})$, $S(Z_X)$, $S(Z_{X+1})$) zum Aktivieren oder Deaktivieren des Balancierungsverfahrens an den jeweiligen Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_X , Z_{X+1}), so dass jeweils ein Balancingstrom (I_{Bal}) zwischen einem ersten Knoten ($P_1(Z_X)$) und einem zweiten Knoten ($P_1(Z_{X+1})$) an einer Batteriezelle (Z_X) fließen kann. Zur Kompensation eines Einflusses eines Balancingstroms (I_{Bal}) auf die Messspannungen ($U_{Mess}(Z_X)$) werden bei einer Berechnung einer Batteriezellenspannung ($U_{Real}(Z_X)$), die anliegt zwischen dem jeweiligen ersten Knoten und dem jeweiligen zweiten Knoten an der entsprechenden Batteriezelle (Z_X), bezüglich der entsprechenden Batteriezelle (Z_X) und bezüglich der zu der entsprechenden Batteriezelle benachbarten Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_{X+1}) ermittelte Messspannungen, multipliziert mit einem jeweiligen vorbestimmten oder ermittelten Gewichtungsfaktor ($F(X-1)$, $F(X)$, $F(X+1)$), in Abhängigkeit vom Aktivierungszustand oder Deaktivierungszustand des jeweils zugehörigen Schaltmittels ($S(X-1)$, $S(X)$, $S(X+1)$) verwendet bzw. nicht verwendet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Balancieren einer Reihenschaltung von Batteriezellen einer Batterie mittels einer Mehrzahl von Schaltmitteln zum Aktivieren oder Deaktivieren des Balancingsverfahrens an den jeweiligen Batteriezellen, so dass jeweils ein Balancingstrom zwischen einem ersten Knoten und einem zweiten Knoten an einer Batteriezelle fließen kann. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Balancingsverfahren, bei dem zur Überwachung des Balancingzustands der Batterie Messspannungen ermittelt werden. Ferner betrifft die Erfindung ein Batteriesystem, dass das erfindungsgemäße Verfahren durchführen kann, sowie ein Fahrzeug mit dem Batteriesystem.

Stand der Technik

[0002] In Hybrid- und Elektrofahrzeugen werden Batteriepacks in Li-Ionen oder NiMH-Technologie eingesetzt, die aus einer großen Anzahl in Serie geschalteten elektrochemischen Zellen bestehen. Ein Batteriemanagementsystem dient zur Überwachung der Batterie und soll neben der Sicherheitsüberwachung eine möglichst hohe Lebensdauer gewährleisten.

[0003] Dazu muss sichergestellt werden, dass die Ladezustände (SOC) („State of Charge“) der einzelnen Zellen aufeinander abgestimmt werden. Dies geschieht durch eine geeignete Zellsymmetrierung bzw. Balancierung der Batteriezellen („Cell Balancing“). Die Balancierung geschieht dabei entweder kapazitiv, das heißt mit geschalteten Kondensatoren, oder induktiv, das heißt mittels geschalteter Induktivitäten, oder resistiv, das heißt, es wird zu jeder Zelle ein Widerstand und ein Schaltelement vorgesehen, um einzelne Zellen gezielt

[0004] entladen zu können. Sowohl bei der kapazitiven als auch bei der induktiven Balancierung kann Energie zwischen den Zellen mit beschränktem Wirkungsgrad ausgetauscht werden. Beim resistiven Zellbalancing kann die Energie nur in Wärme gewandelt werden kann und geht somit verloren.

[0005] In der DE 10 2009 045 514 A1 wird ein Batteriesystem beschrieben, bei dem zum Balancieren der Batteriezellen mit den Batteriezellenanschlüssen gekoppelte Transformatoren vorgesehen sind. Die Sekundärwicklungen der Transformatoren fungieren dabei als Energiespeichermittel, mittels denen Energie zwischen Batteriezellen ausgetauscht werden kann.

[0006] Eine heute gängige Balancing-Strategie versucht einen stets gleichen Ladezustand aller Zellen zu erzielen. Bevorzugt wird dabei auf identische Ladezustände (SOC) aller Zellen symmetriert. Das Zell-

balancing kann sowohl im laufenden Betrieb also auch im Ruhezustand betrieben werden.

[0007] Eine gängige Schaltung für ein resistives Zellbalancing ist in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) schematisch dargestellt. In [Fig. 1](#) wird die Balancingschaltung bei deaktiviertem Zellbalancing gezeigt. Die Balancingschaltung **100** weist ein Batteriezellenpack mit einer Mehrzahl von in Reihe geschalteten Batteriezellen Z_X auf, von denen in der Zeichnung drei dargestellt sind. Der Index „X“ bezeichnet eine jeweilige Position einer Batteriezelle. Die Balancingschaltung **100** weist Schaltmittel $S(Z_X)$ auf, mit denen das Balancingsverfahren bzw. das Fließen eines Balancingstroms I_{Bal} bei der jeweiligen Batteriezelle Z_X aktiviert oder deaktiviert werden kann. Der Balancingstrom I_{Bal} durchläuft einen Balancingwiderstand R_{Bal} , mittels dem Energie der Batteriezelle Z_X abgebaut wird. Ferner weisen die Leitungen der Schaltung jeweils Leitungswiderstände $R_{LX}(Z_X)$ auf, wobei $R_{L1}(Z_X)$ der Leistungswiderstand eines ersten Leitungsteils, $R_{L2}(Z_X)$ der Leistungswiderstand eines zweiten Leitungsteils, und $R_{L3}(Z_X)$ der Leistungswiderstand eines dritten Leitungsteils bei der Batteriezelle Z_X ist. An der Zelle Z_X liegt die Spannung $U_{Real}(Z_X)$ an. Mit $U_{Mess}(Z_X)$ wird die an der Batteriezelle Z_X gemessene Spannung bezeichnet.

[0008] In der [Fig. 2](#) wird die Balancingschaltung bei aktiviertem Zellbalancing gezeigt, wobei das Zellbalancing für die Batteriezelle Z_X eingeschaltet ist, das heißt der Schalter, das heißt $S(Z_X) = 1$, so dass ein Ausgleichstrom bzw. Balancingstrom I_{Bal} durch den Balancing-Widerstand R_{Bal} fließen kann. Für die anderen Batteriezellen Z_{X-1} und Z_{X+1} ist das Zellbalancing ausgeschaltet. Der Balancingstrom fließt vom Punkt $P_1(Z_X)$ zum Punkt $P_1(Z_{X+1})$, wie in der Zeichnung durch Pfeile angedeutet wird. Die Punkte $P_1(Z_X)$ und $P_1(Z_{X+1})$ stellen einen ersten bzw. einen zweiten Knoten an einer Batteriezelle (Z_X) dar, wobei in der gezeigten Schaltung der zweite Knoten einer Batteriezelle (Z_{X+1}) mit dem ersten Knoten einer benachbarten Batteriezelle (Z_X) identisch ist. Bei deaktiviertem Zellbalancing ($S(Z_X) = 0$) gemäß [Fig. 1](#) fließt kein Strom zwischen den Punkten. Bei der gezeigten Methode werden Zellen mit dem höheren Ladezustand den Zellen mit dem geringeren Ladezustand angeglichen.

[0009] Eine wichtige Messgröße für die Batteriezustandserkennung und die Überwachung des Balancingzustands ist die Zellspannung. Diese Information wird unter anderem für die Bestimmung des Ladezustandes (SOC) benötigt. Wie weiter oben bereits erläutert, werden entsprechende Messspannungen $U_{Mess}(Z_X)$ mittels von Spannungsmessgeräten ermittelt, von denen jedes jeweils einer der Batteriezellen zugeordnet ist. Dabei sind die Spannungsmessgeräte jeweils an den Punkten bzw. Anschlüssen $P_2(Z_X)$ und $P_2(Z_{X+1})$ angeschlossen, die im All-

gemeinen unterschiedlich sind zu den Knotenpunkten $P_1(Z_X)$ und $P_1(Z_{X+1})$, zwischen denen bei aktiviertem Zellbalancingverfahren ein Balancingstrom fließt. Falls das Zellbalancingverfahren deaktiviert ist ($S(Z_X) = 0$), entsprechen die real anliegenden Zellspannungen $U_{\text{Real}}(Z_X)$ jeweils den gemessenen Spannungswerten $U_{\text{Mess}}(Z_X)$. In diesem Fall arbeitet die Batteriezustandserkennungslogik optimal. Falls das Zellbalancingverfahren aktiviert ist ($S(Z_X) = 1$), verursacht der Balancingstrom $I_{\text{Bal}}(Z_X)$ zwischen den Knotenpunkten $P_1(Z_X)$ und $P_1(Z_{X+1})$ auch Spannungsabfälle $U_{\text{LX}}(Z_X)$ an den Leitungen, wodurch die Spannungsmessung von Zellen, bei denen ein Balancing stattfindet und zusätzlich von Zellen, die benachbart sind, verfälscht wird. Die gemessene Spannung $U_{\text{Mess}}(Z_X)$ weicht daher von der real anliegenden Zellspannung $U_{\text{Real}}(Z_X)$ ab. In diesem Fall arbeitet die Batteriezustandserkennung nicht optimal.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Balancieren von Batteriezellen einer Batterie mittels einer Mehrzahl von Schaltmitteln bereitgestellt, wobei die Schaltmittel zum Aktivieren oder Deaktivieren des Balancingverfahrens an den jeweiligen Batteriezellen vorgesehen sind, so dass jeweils ein Balancingstrom zwischen einem ersten Knoten und einem zweiten Knoten an einer Batteriezelle fließen kann und wobei die Batteriezellen miteinander in Serie verschaltet sind. Ferner werden zur Überwachung des Balancingzustands der Batterie Messspannungen ermittelt, die jeweils zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss einer Batteriezelle anliegen. Zur Kompensation eines Einflusses eines Balancingstroms auf die Messspannungen werden bei einer Berechnung einer Batteriezellenspannung, die anliegt zwischen dem jeweiligen ersten Knoten und dem jeweiligen zweiten Knoten an der entsprechenden Batteriezelle, bezüglich der entsprechenden Batteriezelle und bezüglich der zu der entsprechenden Batteriezelle benachbarten Batteriezellen ermittelte Messspannungen, multipliziert mit einem jeweiligen vorbestimmten oder ermittelten Gewichtungsfaktor, in Abhängigkeit vom Aktivierungszustand oder Deaktivierungszustand des jeweils zugehörigen Schaltmittels verwendet bzw. nicht verwendet.

[0011] Ferner wird ein Batteriesystem zur Durchführung des Verfahrens geschaffen. Genauer gesagt weist ein Batteriesystem eine Batterie, insbesondere eine Lithium-Ionen-Batterie, eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Batteriezellen, eine mit den Batteriezellen gekoppelte Balancingschaltung, eine Steuer- und Auswerteeinheit auf, die zur Ansteuerung der Balancingschaltung vorgesehen ist und die einen Speicher mit Steuerungsbefehlen aufweist, wobei die Steuerungsbefehle ermöglichen, die Balancingschaltung derart anzusteuern, dass das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt wird.

[0012] Außerdem wird ein Kraftfahrzeug offenbart, das das erfindungsgemäße Batteriesystem aufweist, wobei das Batteriesystem mit einem Antriebsstrang des Kraftfahrzeuges verbunden ist.

[0013] Somit wird vorteilhaft eine optimierte Balancing-Strategie bereitgestellt, welche Abweichungen der Zellspannungsmessung bei aktiviertem Zellbalancing vermeidet und damit eine korrekte Funktion der Batteriezustandserkennung sicherstellt. Die Erfindung kann insbesondere besonders vorteilhaft bei Hybrid- oder Elektrofahrzeugen angewandt werden.

[0014] Es wird ermöglicht, dass sämtliche Zellen eines Batteriepacks derart balanciert werden, dass trotz aktiviertem Zellbalancing Zellspannungen korrekt bestimmt werden können. Damit können optimale Randbedingungen für die entwickelten Batteriefunktionen, wie beispielsweise zur SOC-Bestimmung, hergestellt werden. Die Zellspannungsmessung kann vorteilhaft schon während der Zellspannungsmessung korrigiert werden.

[0015] Die Erfindung ist kostengünstig implementierbar, da im Allgemeinen wenig oder kein zusätzlicher Verschaltungsaufwand anfällt und bereits vorhandene Balancingschaltungen verwendet werden können. Bevorzugt wird dabei die Erfindung lediglich durch Software oder eine Firmware realisiert.

[0016] Eine Widerstandsmessung für Steckverbinder kann auf einfache Weise durchgeführt werden. Ferner wird vorteilhaft das Durchführen von Diagnosefunktionen ermöglicht.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird als ein Gewichtungsfaktor ($F(X - 1)$, $F(X)$, $F(X + 1)$) jeweils das Verhältnis eines Leitungswiderstandes ($R_{\text{LM}}(Z_X)$) eines zu einer Batteriezelle (Z_X) zugehörigen Balancingschaltungsteils zu dem in dem Balancingschaltungsteil verbauten Balancingwiderstand (R_{Bal}) verwendet.

[0018] Diese Ausführungsform ist auf vorteilhafte Weise insbesondere auf Balancingschaltungen angepasst, die auf einem resistiven Balancing basieren.

[0019] Nach einer bevorzugten Variante der Ausführungsform wird ein Leitungswiderstand R_{L1} eines gemeinsamen Leitungsstücks bestimmt.

[0020] Dadurch wird vorteilhaft ausgenutzt, dass bei manchen Balancingschaltungen jede der Batteriezellen der Batterie mit einem Balancingschaltungsteil zum Durchführen eines Balancingverfahrens an der jeweiligen Batteriezelle gekoppelt ist, wobei die Balancingschaltungsteile einer ersten Batteriezelle und einer zu der ersten Batteriezelle benachbarten zweiten Batteriezelle mindestens ein gemeinsames, zu beiden Balancingschaltungsteilen gehöriges Schal-

tungselement, insbesondere ein gemeinsames Leitungsstück, aufweisen.

[0021] Bevorzugt wird erfindungsgemäß geprüft, ob bei benachbarten Batteriezellen die Balancingströme denselben Stromwert haben, oder es wird der Stromwert auf denselben Wert eingeregelt.

[0022] Bei einer darauf aufbauenden vorteilhaften Weiterbildung wird zum Bestimmen des Leitungswiderstands R_{L1} des gemeinsamen Leitungsstücks mittels Schalten von entgegengesetzten Balancingströmen ein Spannungsabfall über das Leitungsstück eliminiert.

[0023] Damit kann ein Leitungswiderstand auf besonders einfache Weise ermittelt werden.

[0024] Ferner kann vorgesehen sein, dass zum Bestimmen des Leitungswiderstands R_{L1} des gemeinsamen Leitungsstücks Messspannungen an den Batteriezellen gemäß einem vorbestimmten Muster jeweils bei aktiviertem und/oder deaktiviertem Balancingverfahren ermittelt werden. Dabei werden bevorzugt aus den ermittelten Messspannungen dimensionslose Faktoren gebildet, die mit einem Wert eines Balancing-Widerstands multipliziert werden.

[0025] Eine besonders günstige Ausführungsform sieht vor, den Leitungswiderstand des gemeinsamen Leitungsstücks als Differenz zu bestimmen zwischen einem ersten Widerstandswert R_{LM1} , wobei bei der Bestimmung der verwendeten Messspannung das Zellbalancingverfahren für die erste Batteriezelle aktiviert und für die beiden benachbarten Zellen deaktiviert ist, und einem zweiten Widerstandswert R_{LM2} , wobei bei der Bestimmung der verwendeten Messspannung das Zellbalancingverfahren für die erste Batteriezelle und für die zweite Batteriezelle aktiviert und für die andere zur ersten Batteriezelle benachbarte Batteriezelle deaktiviert ist.

[0026] Vorteilhafterweise wird ferner eine Weiterbildung bereitgestellt, bei der das Verfahren parallel für eine Vielzahl von Batteriezellen durchgeführt wird. Genauer gesagt, es wird zunächst bei deaktiviertem Balancing die Batteriezellenspannung für alle Batteriezellen bestimmt. Dann wird der Leitungswiderstand des Balancingschaltungsteils zu jeder Batteriezelle bestimmt, indem der erste Widerstandswert $R_{LM1}(Z_X)$ für jede zweite Batteriezelle bestimmt wird. Somit wird dieser Abschnitt in zwei Schritten durchgeführt, bei jedem von dem das Zellbalancing für eine Batteriezelle aktiviert und bei der jeweils benachbarten Batteriezelle deaktiviert ist. Der Schritt wird dabei auf eine umgekehrte Weise wiederholt, das heißt, es werden zunächst die deaktivierten Zellen aktiviert und die aktivierten Zellen deaktiviert, um bei den nunmehr aktivierten Zellen eine Messspannung zu ermitteln. Ferner werden in weiteren Schritten die ge-

meinsamen Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ bestimmt, indem die Zellen in drei Gruppen aufgeteilt werden, so dass in der Reihenschaltung abwechselnd zwei Zellen mit aktiviertem Zellbalancing und daneben eine Zelle mit deaktiviertem Zellbalancing betrieben werden. Dieser Schritt wird entsprechend insgesamt dreimal ausgeführt.

[0027] Damit kann besonders schnell der Balancingzustand aller Zellen während eines laufenden Balancingverfahrens geprüft werden, wobei die Beeinflussung von Spannungsmessungen durch einen fließenden Balancingstrom vermieden werden kann.

[0028] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und in der Beschreibung beschrieben.

Zeichnungen

[0029] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0030] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Balancingschaltung mit deaktiviertem Balancing, bei der das erfindungsgemäße Verfahren angewandt werden kann,

[0031] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung der Balancingschaltung aus [Fig. 1](#), mit an der Zelle Z_X aktiviertem Balancing,

[0032] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer allgemeinen Balancingschaltung mit einer Auswerte- und Steuerungseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, und

[0033] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung der Balancingschaltung aus [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#), mit an den Zellen Z_{X-1} und Z_X aktiviertem Balancing.

Ausführungsformen der Erfindung

[0034] In der [Fig. 3](#) ist eine schematische Darstellung eines allgemeinen, eine Balancingschaltung aufweisenden Batteriesystems **300** gezeigt. Die Batteriezellen einer Batterie **301** sind mit einem Schaltungsblock **302** verschaltet, der Mittel zum Durchführen eines Batteriezellenbalancings aufweist. Dazu sind die Batteriezellen miteinander in Serie verschaltet. Für das Zellbalancing kann der Schaltungsblock **302** beispielsweise resistive, kapazitive oder induktive Mittel (nicht dargestellt) aufweisen. Wie in der [Fig. 3](#) gezeigt wird, weist der Schaltungsblock **302** eine Mehrzahl von Schaltmitteln sowie Spannungsmessgeräte auf. Die Anzahl der Schaltmittel sowie die Anzahl der Spannungsmessgeräte entsprechen dabei der Anzahl der Batteriezellen der Batterie **301**. Die Schaltmittel dienen zum Aktivieren

oder Deaktivieren des Balancingverfahrens an den jeweiligen Batteriezellen, so dass jeweils ein Balancingstrom zwischen einem ersten Knoten und einem zweiten Knoten an einer Batteriezelle fließen kann. Die Schaltmittel werden mittels der Auswerte- und Steuerungseinheit **303** angesteuert, die auch die von den Spannungsmessgeräten gelieferten Messspannungen auswertet. Die Messspannungen dienen insbesondere zur Überwachung des Balancingzustands der Batterie **301**. Die Messspannungen werden jeweils zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss einer Batteriezelle abgenommen. Während des Balancings fließen Balancingströme zwischen den Batteriezellen bzw. im Schaltungsblock **302**, wodurch die von den Spannungsmessgeräten gemessenen Messspannungswerte verfälscht werden können. Daher entsprechen die Messspannungswerte im Allgemeinen nicht den real an den Batteriezellen der Batterie **301** anliegenden Spannungen. Zur Kompensation des Einflusses der Balancingströme auf die Messspannungen werden daher bei einer Berechnung einer Batteriezellenspannung Korrekturen vorgenommen. Genauer gesagt, es wird von dem zunächst ermittelten Messspannungswert der gleiche, jedoch mit einem ermittelten oder vorbestimmten Faktor multiplizierte Messspannungswert subtrahiert. Ferner werden die ebenfalls jeweils mit einem spezifischen ermittelten oder vorbestimmten Gewichtungsfaktor multiplizierten Messspannungswerte zu dem Ergebnis hinzuaddiert, um ein genaues Ergebnis bei einer Berechnung des Batteriezellen-Spannungswerts U_{Real} zu erhalten. Die jeweiligen vorbestimmten oder ermittelten Gewichtungsfaktoren hängen von der Art der Verschaltung innerhalb des Schaltungsblocks **302** ab. Beispielsweise werden dabei Leitungswiderstände berücksichtigt. Die Faktoren werden beispielsweise während einer Initialisierungsphase des Balancingverfahrens für eine bestimmte Balancingschaltung ermittelt oder können im Voraus berechnet werden. Jedoch werden die Korrekturen nur insofern vorgenommen, wie das Balancingverfahren an einer Batteriezelle aktiv ist. Mit anderen Worten, bei einer betrachteten Zelle, an der die Batteriezellenspannung genau bestimmt werden soll, wird das Korrekturglied, welches unter anderem die an der betrachteten Zelle selbst gemessene Spannung beinhaltet, nur dann berücksichtigt, wenn auch ein Balancingstrom fließt. Auf ähnliche Weise werden die Korrekturglieder, die von den jeweiligen benachbarten Zellen herrühren, nur verwendet, wenn das Balancingverfahren an der benachbarten Zelle aktiv ist. Somit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Messungen jeweils aufgrund von Balancingströmen an den Nachbarzellen beeinflusst werden können, beispielsweise wenn von benachbarten Zellen gemeinsam Leitungen innerhalb der Balancingschaltung verwendet werden. Somit hängt die Korrektur zum Kompensieren eines Balancingstroms zum einen von dem momentanen Balancingzustand ab, da die aktuellen Messspannungswerte und die jeweili-

gen Schaltzustände bzw. Aktivierungs- oder Deaktivierungszustände bezüglich einer Batteriezelle mit einfließen. Andererseits sind die vorbestimmten oder ermittelten Faktoren lediglich gerätespezifisch und somit im Allgemeinen unabhängiger von dem momentanen Balancingstatus.

[0035] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines konkreten Beispiels noch genauer erläutert. Dabei wird das Verfahren anhand der bereits weiter oben im Zusammenhang mit den **Fig. 1** und **Fig. 2** erläuterten Balancingschaltung veranschaulicht. **Fig. 2** stellt, wie bereits erwähnt, eine gängige Schaltung für das resistive Zellbalancing dar. Beispielsweise beim aktivierten Balancing von Batteriezelle X ($S(Z_x) = 1$) fließt ein Balancingstrom $I_{\text{Bal}}(Z_x)$, der zu Spannungsabfällen auf den Leitungen $R_{L1}(Z_x)$, $R_{L3}(Z_x)$, $R_{L1}(Z_{x+1})$ und $R_{L2}(Z_{x+1})$ führt. Die Spannungsabfälle an den Leitungswiderständen $R_{L1}(Z_x)$, $R_{L1}(Z_{x+1})$ und $R_{L2}(Z_{x+1})$ führen zu einer Verfälschung der Zellspannungsmessung $U_{\text{Mess}}(Z_x)$, $U_{\text{Mess}}(Z_{x-1})$ und $U_{\text{Mess}}(Z_{x+1})$. Diese können durch die folgenden Beziehungen (1), (2), und (3) beschrieben werden.

$$U_{\text{Mess}}(Z_{x-1}) = U_{\text{Real}}(Z_{x-1}) + U_{L1}(Z_x) \quad (1)$$

$$U_{\text{Mess}}(Z_x) = U_{\text{Real}}(Z_x) - U_{L1}(Z_x) - U_{L2}(Z_{x+1}) - U_{L1}(Z_{x+1}) \quad (2)$$

$$U_{\text{Mess}}(Z_{x+1}) = U_{\text{Real}}(Z_{x+1}) + U_{L1}(Z_{x+1}) + U_{L2}(Z_{x+1}) \quad (3)$$

[0036] Die Spannungsabfälle $U_{LX}(Z_x)$ an den Leitungswiderständen $R_{LX}(Z_x)$ ergeben sich aus folgender Beziehung:

$$U_{LX}(Z_x) = I_{\text{Bal}}(Z_x) \cdot R_{LX}(Z_x) \quad (4)$$

[0037] Der fließende Balancingstrom $I_{\text{Bal}}(Z_x)$ kann durch folgende Beziehung ermittelt werden:

$$I_{\text{Bal}}(Z_x) = U_{\text{Mess}}(Z_x) / (R_{\text{Bal}} + R_{L3}(Z_x)) \quad (5)$$

[0038] Unter der Bedingung $R_{\text{Bal}} \gg R_{L3}(Z_x)$ kann die Beziehung (5) vereinfacht werden:

$$I_{\text{Bal}}(Z_x) = U_{\text{Mess}}(Z_x) / R_{\text{Bal}} \quad (6)$$

[0039] Im Folgenden wird zur Vereinfachung angenommen, dass der Balancing-Widerstand R_{Bal} bekannt und für alle Batteriezellen gleich ist, wie es in der Praxis oft der Fall ist. Beim Einsetzen von (6) in (4) erhält man schließlich die Spannungsabfälle über den Leitungen:

$$U_{LX}(Z_x) = U_{\text{Mess}}(Z_x) \cdot R_{LX}(Z_x) / R_{\text{Bal}} \quad (7)$$

[0040] Verallgemeinert man die Beziehungen (1), (2) und (3) und berücksichtigt den Spannungsabfall der Leitungen mittels Formel (7), dann kann die real an-

liegende Spannung $U_{\text{Real}}(Z_X)$ für jede Zelle wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned} U_{\text{Real}}(Z_X) &= U_{\text{Mess}}(Z_X) \\ &- U_{\text{Mess}}(Z_X) \cdot (R_{L1}(Z_X) + R_{L2}(Z_{X+1}) + \\ &R_{L1}(Z_{X+1})) / R_{\text{Bal}} \cdot S(Z_X) \\ &+ U_{\text{Mess}}(Z_{X-1}) \cdot (R_{L1}(Z_X) / R_{\text{Bal}}) \cdot S(Z_{X-1}) \\ &+ (U_{\text{Mess}}(Z_{X+1}) \cdot (R_{L1}(Z_{X+1}) + R_{L2}(Z_{X+1})) / \\ &R_{\text{Bal}}) \cdot S(Z_{X+1}) \end{aligned} \quad (8)$$

[0041] Somit ergibt sich der erfindungsgemäße vorbestimmte Faktor für die Batteriezelle X zu

$$F(X) = (R_{L1}(Z_X) + R_{L2}(Z_{X+1}) + R_{L1}(Z_{X+1})) / R_{\text{Bal}}. \quad (10)$$

[0042] Der Faktor für die benachbarte Zelle X – 1 ergibt sich zu

$$F(X - 1) = (R_{L1}(Z_X)) / R_{\text{Bal}}. \quad (11)$$

[0043] Schließlich ergibt sich der Faktor für die benachbarte Zelle X + 1 zu

$$F(X + 1) = (R_{L1}(Z_{X+1}) + R_{L2}(Z_{X+1})) / R_{\text{Bal}} \quad (12)$$

[0044] Bei Anwendung von Beziehung (8) kann der schaltungsbedingte Spannungsmessfehler für jede Zelle im Batteriepack kompensiert werden.

[0045] Im Folgenden wird gezeigt, wie die Leitungswiderstände R_{LX} ermittelt werden. Alle anderen Informationen sind Messwerte oder Systemkonstanten, die im System bekannt sind. So kann die Leitungswiderstandsbestimmung allgemein durch die folgende Beziehung (13) bestimmt werden:

$$R_{LM}(Z_X) = ((U_{\text{Real}}(Z_X) - U_{\text{Mess}}(Z_X)) / I_{\text{Bal}}(Z_X)) \quad (13)$$

[0046] Dabei kann die Spannung $U_{\text{Real}}(Z_X)$ bei deaktiviertem Zellbalancing ermittelt werden, das heißt $S(Z_X) = 0$; für $X = 0, \dots, N$, wobei N die Anzahl der Batteriezellen ist. Vergleiche hierzu auch die [Fig. 1](#). Die Spannung $U_{\text{Mess}}(Z_X)$ entspricht der Zellspannung, die bei aktiviertem Balancing gemessen wird, siehe hierzu die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#).

[0047] Beim Einsetzen von (6) in (13) kann der Leitungswiderstand allgemein durch folgende Beziehung ermittelt werden:

$$R_{LM}(Z_X) = ((U_{\text{Real}}(Z_X) - U_{\text{Mess}}(Z_X)) \cdot R_{\text{Bal}}) / U_{\text{Mess}}(Z_X) \quad (14)$$

[0048] Für die Kompensation der schaltungsbedingten Abweichung der Zellspannungsmessung muss die Summe der Leitungswiderstände $R_{LM1}(Z_X) = R_{L1}(Z_X) + R_{L2}(Z_{X+1}) + R_{L1}(Z_{X+1})$ ermittelt werden (siehe Formel (1)).

[0049] Im Folgenden wird erläutert, wie der Leitungswiderstand $R_{LM1}(Z_X)$ bestimmt werden kann. Dabei muss zur Bestimmung der Leitungswiderstände $R_{LM1}(Z_X)$ das Balancing von Zelle X aktiviert ($S(Z_X) = 1$) und das Balancing der Nachbarzellen deaktiviert ($S(Z_{X+1}) = 0$ und ($S(Z_{X-1}) = 0$) sein. Dieser Zusammenhang ist in [Fig. 2](#) dargestellt. Unter Berücksichtigung der Beziehung (14) ergibt sich:

$$\begin{aligned} R_{LM1}(Z_X) &= R_{L1}(Z_X) + R_{L1}(Z_{X+1}) + \\ R_{L2}(Z_{X+1}) &= ((U_{\text{Real}}(Z_X) - U_{\text{Mess}}(Z_X)) / \\ U_{\text{Mess}}(Z_X)) \cdot R_{\text{Bal}} \end{aligned} \quad (15)$$

[0050] Für die Bestimmung des Leitungswiderstandes $R_{L1}(Z_X)$ muss das Balancing von Zelle X und X – 1 aktiviert sein ($S(Z_X) = 1$ und ($S(Z_{X-1}) = 1$)) und das Balancing der Nachbarzelle X + 1 muss deaktiviert sein ($S(Z_{X+1}) = 0$). Dieser Sachverhalt ist in [Fig. 3](#) dargestellt.

[0051] Im Folgenden wird die Bedingung berücksichtigt, dass die Spannungswerte $U_{\text{Real}}(Z_X)$ und $U_{\text{Real}}(Z_{X-1})$ gleich groß sind und dass die jeweiligen Leitungswiderstände sehr viel kleiner sind als der Balancingwiderstand ($R_{LX} \ll R_{\text{Bal}}$). Unter dieser Voraussetzung sind die Balancingströme $I_{\text{Bal}}(Z_X)$ und $I_{\text{Bal}}(Z_{X-1})$ ebenfalls gleich groß. Am Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_X)$ fließen beide Balancingströme $I_{\text{Bal}}(Z_X)$ und $I_{\text{Bal}}(Z_{X-1})$ in jeweils entgegengesetzter Richtung und heben sich damit auf. Als Ergebnis fällt über dem Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_X)$ keine Spannung ab. Unter Berücksichtigung von (14) kann der Leitungswiderstand nun wie folgt bestimmt werden:

$$R_{LM2}(Z_X) = R_{L1}(Z_X + 1) \quad R_{L2}(Z_X + 1) = (U_{\text{Real}}(Z_X) - U_{\text{Mess}}(Z_X)) / U_{\text{Mess}}(Z_X) \cdot R_{\text{Bal}} \quad (16)$$

[0052] Der Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_X)$ kann nun durch Bildung der Differenz von $R_{LM2}(Z_X)$ und $R_{LM1}(Z_X)$ bestimmt werden:

$$R_{L1}(Z_X) = R_{LM1}(Z_X) - R_{LM2}(Z_X) \quad (17)$$

[0053] Äquivalent kann der Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_{X+1})$ nach dem gleichen Verfahren wie beim Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_X)$ bestimmt werden: Dabei muss für die Bestimmung des Leitungswiderstandes $R_{L1}(Z_{X+1})$ das Balancing für die Zellen X und X + 1 aktiviert ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X+1}) = 1$) und für die Nachbarzelle X – 1 muss das Balancing deaktiviert ($S(Z_{X-1}) = 0$) sein. Unter den Voraussetzungen, dass die Zellspannungen $U_{\text{Real}}(Z_X)$ und $U_{\text{Real}}(Z_{X-1})$ gleich groß sind und die Leitungswiderstände sehr viel kleiner als der Balancingwiderstand ($R_{LX} \ll R_{\text{Bal}}$) sind, kann der Leitungswiderstand wie folgt bestimmt werden:

$$\begin{aligned} R_{LM3}(Z_X) &= R_{L1}(Z_X) + R_{L2}(Z_X + 1) \\ &= ((U_{\text{Real}}(Z_X) - U_{\text{Mess}}(Z_X)) / U_{\text{Mess}}(Z_X)) \cdot R_{\text{Bal}} \end{aligned} \quad (18)$$

[0054] Der Leitungswiderstand $R_{L1}(Z_{X+1})$ kann nunmehr durch Bildung der Differenz von $R_{LM1}(Z_X)$ und $R_{LM3}(Z_X)$ bestimmt werden:

$$RL1(ZX + 1) = RLM1(ZX) - RLM3(ZX) \quad (19)$$

[0055] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Leitungswiderstände beispielsweise während der Steuergeräteinitialisation ermittelt, wobei die folgende Schritte durchgeführt werden:

1. Bei deaktiviertem Balancing ($S(Z_X) = 0$), Bestimmung der Spannung $U_{Real}(Z_X)$ für alle Zellen $X = 1 \dots N$
2. Bestimmung des Leitungswiderstandes $R_{LM1}(Z_X)$ unter Verwendung von Formel (5). Das Balancing von benachbarten Zellen muss dabei deaktiviert sein, weshalb die Messung in 2 Schritten durchgeführt wird: a. Bestimmung von $R_{LM1}(Z_X)$ bei ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X+1}) = 0$) für $X = 1, 3, 5, N$
b. Bestimmung von $R_{LM1}(Z_X)$ bei ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X-1}) = 0$) für $X = 2, 4, 6, \dots, N$
3. Prüfen der Bedingung, dass die Spannung $U_{Real}(ZX)$ benachbarter Zellen gleich ist, um sicherzustellen, dass die Spannungsabweichung benachbarter Zellen innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbandes liegt. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Leitungswiderstände $R_{LM1}(Z_X)$, je nach Anwendungsfall, hinreichend genau bestimmt werden können.
4. Bestimmung der Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ unter Verwendung von Formel (17). Die Widerstandsbestimmung wird in 3 Schritten durchgeführt, um zu vermeiden, dass die Aktivierung des Balancings von benachbarten Zellen die Messungen beeinflusst:
 - a. Bestimmung der Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ bei ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X+1}) = 1$) für $X = 2, 5, 8, \dots, N$
 - b. Bestimmung der Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ bei ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X+1}) = 1$) für $X = 3, 6, 9, \dots, N$
 - c. Bestimmung der Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ bei ($S(Z_X) = 1$) und ($S(Z_{X+1}) = 1$) für $X = 4, 7, 10, \dots, N$

[0056] Beachte hierbei, dass der Leitungswiderstandswert für Zelle 1 ($R_{L1}(Z_1)$) und Zelle N ($R_{L1}(Z_N)$) nicht bestimmt werden muss, da dort keine Beeinflussung von benachbarten Zellen möglich ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102009045514 A1 [[0005](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Balancieren von Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_X , Z_{X+1}) einer Batterie mittels einer Mehrzahl von Schaltmitteln ($S(Z_{X-1})$, $S(Z_X)$, $S(Z_{X+1})$) zum Aktivieren oder Deaktivieren des Balancingverfahrens an den jeweiligen Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_X , Z_{X+1}), so dass jeweils ein Balancingstrom (I_{Bal}) zwischen einem ersten Knoten ($P_1(Z_X)$) und einem zweiten Knoten ($P_1(Z_{X+1})$) an einer Batteriezelle (Z_X) fließen kann, wobei die Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_X , Z_{X+1}) miteinander in Serie verschaltet sind und wobei zur Überwachung des Balancingzustands der Batterie Messspannungen ($U_{Mess}(Z_X)$) ermittelt werden, die jeweils zwischen einem ersten Anschluss ($P_2(Z_X)$) und einem zweiten Anschluss ($P_2(Z_{X+1})$) einer Batteriezelle (Z_X) anliegen, gekennzeichnet dadurch, dass zur Kompensation eines Einflusses eines Balancingstroms (I_{Bal}) auf die Messspannungen ($U_{Mess}(Z_X)$) bei einer Berechnung einer Batteriezellenspannung ($U_{Real}(Z_X)$), die anliegt zwischen dem jeweiligen ersten Knoten und dem jeweiligen zweiten Knoten an der entsprechenden Batteriezelle (Z_X), bezüglich der entsprechenden Batteriezelle (Z_X) und bezüglich der zu der entsprechenden Batteriezelle benachbarten Batteriezellen (Z_{X-1} , Z_{X+1}) ermittelte Messspannungen, multipliziert mit einem jeweiligen vorbestimmten oder ermittelten Gewichtungsfaktor ($F(X-1)$, $F(X)$, $F(X+1)$), in Abhängigkeit vom Aktivierungszustand oder Deaktivierungszustand des jeweils zugehörigen Schaltmittels ($S(X-1)$, $S(X)$, $S(X+1)$) verwendet bzw. nicht verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als ein Gewichtungsfaktor ($F(X-1)$, $F(X)$, $F(X+1)$) jeweils das Verhältnis eines Leitungswiderstandes ($R_{LM}(Z_X)$) eines zu einer Batteriezelle (Z_X) zugehörigen Balancingschaltungsteils zu dem in dem Balancingschaltungsteil verbauten Balancingwiderstand (R_{Bal}) verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine Batteriezellenspannung $U_{Real}(Z_X)$ gemäß der Beziehung

$$U_{Real}(Z_X) = U_{Mess}(Z_X) - U_{Mess}(Z_X) \cdot (R_{L1}(Z_X) + R_{L2}(Z_{X+1}) + R_{L1}(Z_{X+1})) / R_{Bal} \cdot S(Z_X) + U_{Mess}(Z_{X-1}) \cdot (R_{L1}(Z_X)) / R_{Bal} \cdot S(Z_{X-1}) + U_{Mess}(Z_{X+1}) \cdot (R_{L1}(Z_{X+1}) + R_{L2}(Z_{X+1})) / R_{Bal} \cdot S(Z_{X+1})$$

ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jede der Batteriezellen (Z_X) mit einem zugehörigen Balancingschaltungsteil zum Durchführen eines Balancingverfahrens an der jeweiligen Batteriezelle (Z_X) gekoppelt ist und wobei die Balancingschaltungsteile einer ersten Batteriezelle (Z_X) und einer zu der ersten Batteriezelle (Z_X) benachbarten zweiten Batteriezelle (Z_{X-1}) mindestens ein gemein-

sames, zu beiden Balancingschaltungsteilen gehöriges Schaltungselement, insbesondere ein gemeinsames Leitungsstück, aufweisen, wobei bei dem Verfahren der Leitungswiderstand ($R_{L1}(Z_X)$) des gemeinsamen Leitungsstücks bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zum Bestimmen des Leitungswiderstands ($R_{L1}(Z_X)$) des gemeinsamen Leitungsstücks mittels Schalten von entgegengesetzten Balancingströmen ($I_{Bal}(Z_X)$, $I_{Bal}(Z_{X-1})$) ein Spannungsabfall ($U_{L1}(R_X)$) über das Leitungsstück eliminiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 und 5, wobei zum Bestimmen des Leitungswiderstands ($R_{L1}(Z_X)$) des gemeinsamen Leitungsstücks Messspannungen ($U_{Mess}(Z_{X-1})$, $U_{Mess}(Z_X)$, $U_{Mess}(Z_{X+1})$) an den Batteriezellen (Z_X) gemäß einem vorbestimmten Muster jeweils bei aktiviertem und/oder deaktiviertem Balancingverfahren ermittelt werden und aus den ermittelten Messspannungen ($U_{Mess}(Z_{X-1})$, $U_{Mess}(Z_X)$, $U_{Mess}(Z_{X+1})$) dimensionslose Faktoren gebildet werden zum Multiplizieren mit einem Wert eines Balancing-Widerstands (R_{Bal}).

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Leitungswiderstand ($R_{L1}(Z_X)$) des gemeinsamen Leitungsstücks bestimmt wird als Differenz zwischen einem ersten Widerstandswert $R_{LM1}(Z_X)$, der bestimmt wird gemäß

$$R_{LM1}(Z_X) = ((U_{Real}(Z_X) - U_{Mess}(Z_X)) / U_{Mess}(Z_X)) \cdot R_{Bal},$$

während bei Bestimmung der verwendeten Messspannung $U_{Mess}(Z_X)$ das Zellbalancingverfahren für die erste Batteriezelle aktiviert ($S(Z_X) = 1$) und für die beiden benachbarten Zellen (Z_{X-1} , Z_{X+1}) deaktiviert ($S(Z_{X-1}) = 0$; $S(Z_{X+1}) = 0$) ist, und einem zweiten Widerstandswert $R_{LM2}(Z_X)$, der bestimmt wird gemäß

$$R_{LM2}(Z_X) = ((U_{Real}(Z_{X+1}) - U_{Mess}(Z_{X+1})) / U_{Mess}(Z_X)) \cdot R_{Bal},$$

während bei Bestimmung der verwendeten Messspannung $U_{Mess}(Z_X)$ das Zellbalancingverfahren für die erste Batteriezelle und für die zweite Batteriezelle aktiviert ($S(Z_{X-1}) = 1$; $S(Z_X) = 1$), und für die anderen zur ersten Batteriezelle (Z_X) benachbarten Batteriezellen (Z_{X+1}) deaktiviert ($S(Z_{X+1}) = 0$) ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die folgenden Schritte ausgeführt werden:

bei deaktiviertem Balancing $S(Z_X) = 0$, Bestimmen der Batteriezellenspannung $U_{Real}(Z_X)$ für alle Batteriezellen ($X = 1 \dots N$),

Bestimmen des Leitungswiderstandes des Balancingschaltungsteils zu jeder Batteriezelle, indem der jeweilige erste Widerstandswert $R_{LM1}(Z_X)$ für jede Batteriezelle bestimmt wird, in zwei Schritten bei S

$(Z_X) = 1$ und $S(Z_{X+}) = 0$ für $X = 1, 3, 5, N$ und bei $S(Z_X) = 1$ und $S(Z_{X-1}) = 0$ für $X = 2, 4, 6, \dots, N$, und Bestimmen der Leitungswiderstände $R_{L1}(Z_X)$ der jeweiligen gemeinsamen Leitungsstücke gemäß den Schritten in Anspruch 7, wobei die Widerstandsbestimmung in drei Schritten durchgeführt wird
 bei $S(Z_X) = 1$ und $S(Z_{X+1}) = 1$ für $X = 2, 5, 8, \dots, N$,
 bei $S(Z_X) = 1$ und $S(Z_{X+1}) = 1$ für $X = 3, 6, 9, \dots, N$, und
 bei $S(Z_X) = 1$ und $S(Z_{X+1}) = 1$ für $X = 4, 7, 10, \dots, N$.

9. Batteriesystem (**300**), aufweisend eine Batterie, insbesondere eine Lithium-Ionen-Batterie, die eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Batteriezellen (Z_X), eine mit den Batteriezellen (Z_X) gekoppelte Balancingschaltung (**302**), eine Steuer- und Auswerteeinheit (**303**), die zur Ansteuerung der Balancingschaltung (**302**) vorgesehen ist, und einen Speicher mit Steuerungsbefehlen, die Balancingschaltung anzusteuern derart, dass das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 durchgeführt wird.

10. Kraftfahrzeug, aufweisend das Batteriesystem nach Anspruch 9, das mit einem Antriebsstrang des Kraftfahrzeuges verbunden ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

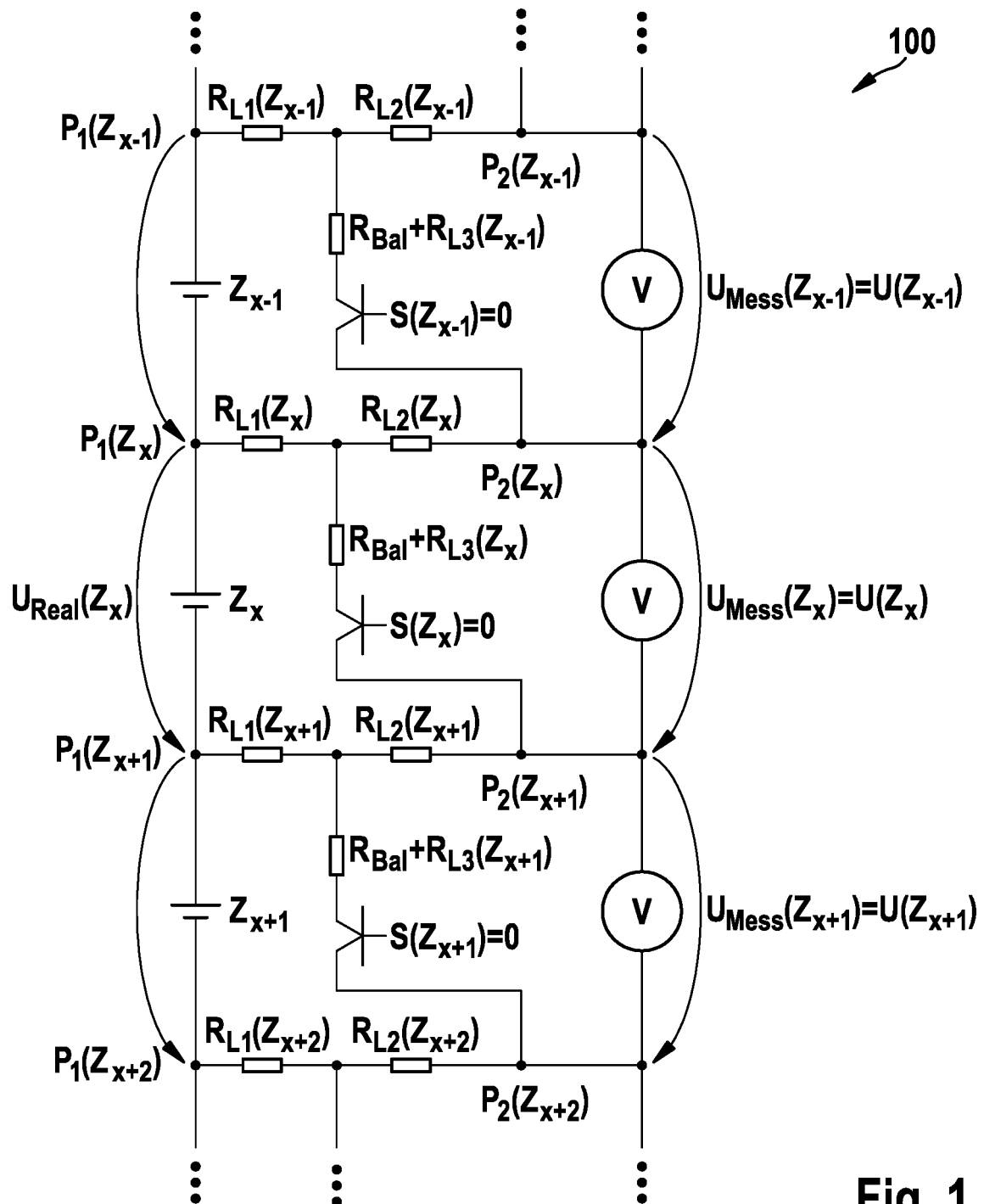


Fig. 1

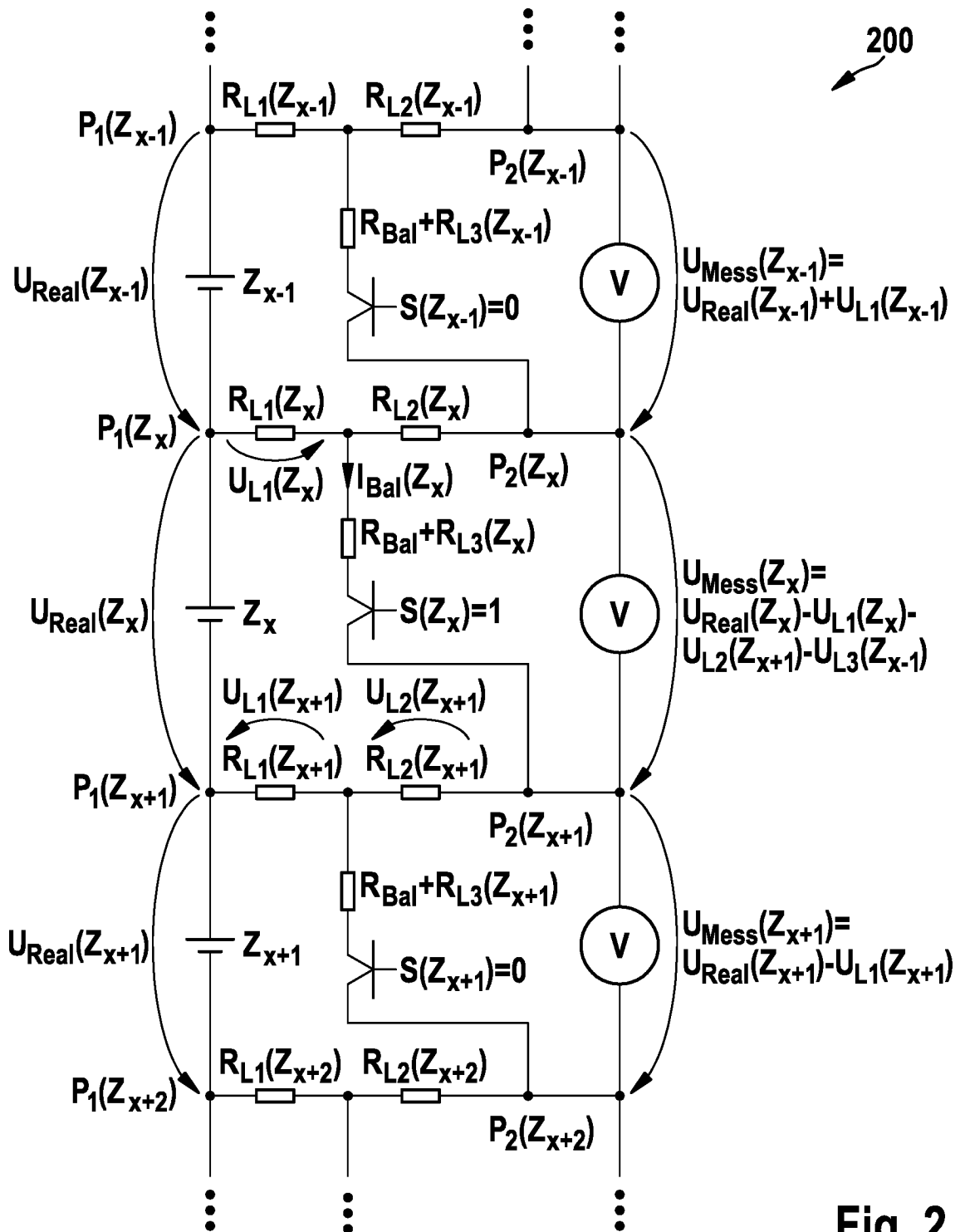


Fig. 2

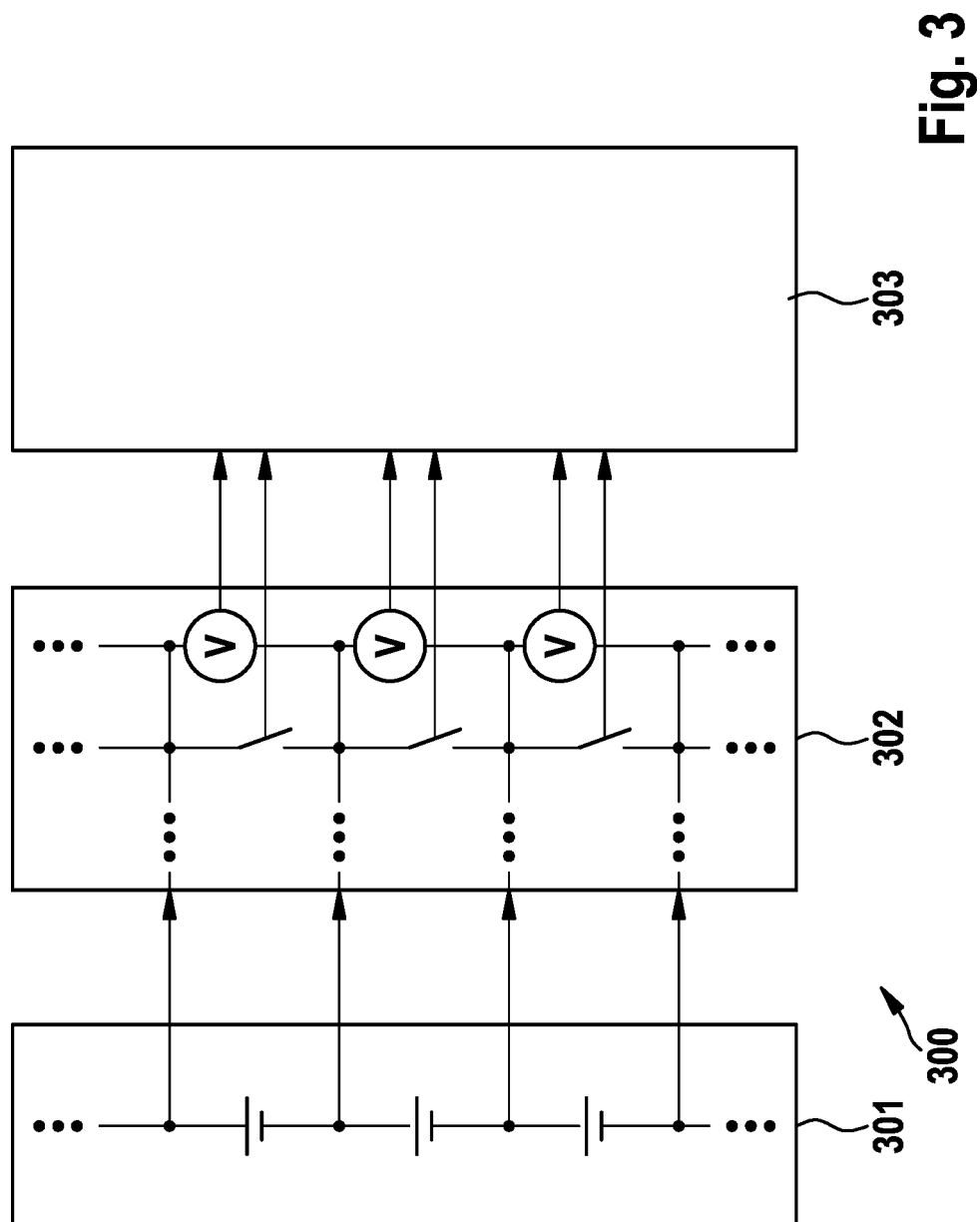


Fig. 3

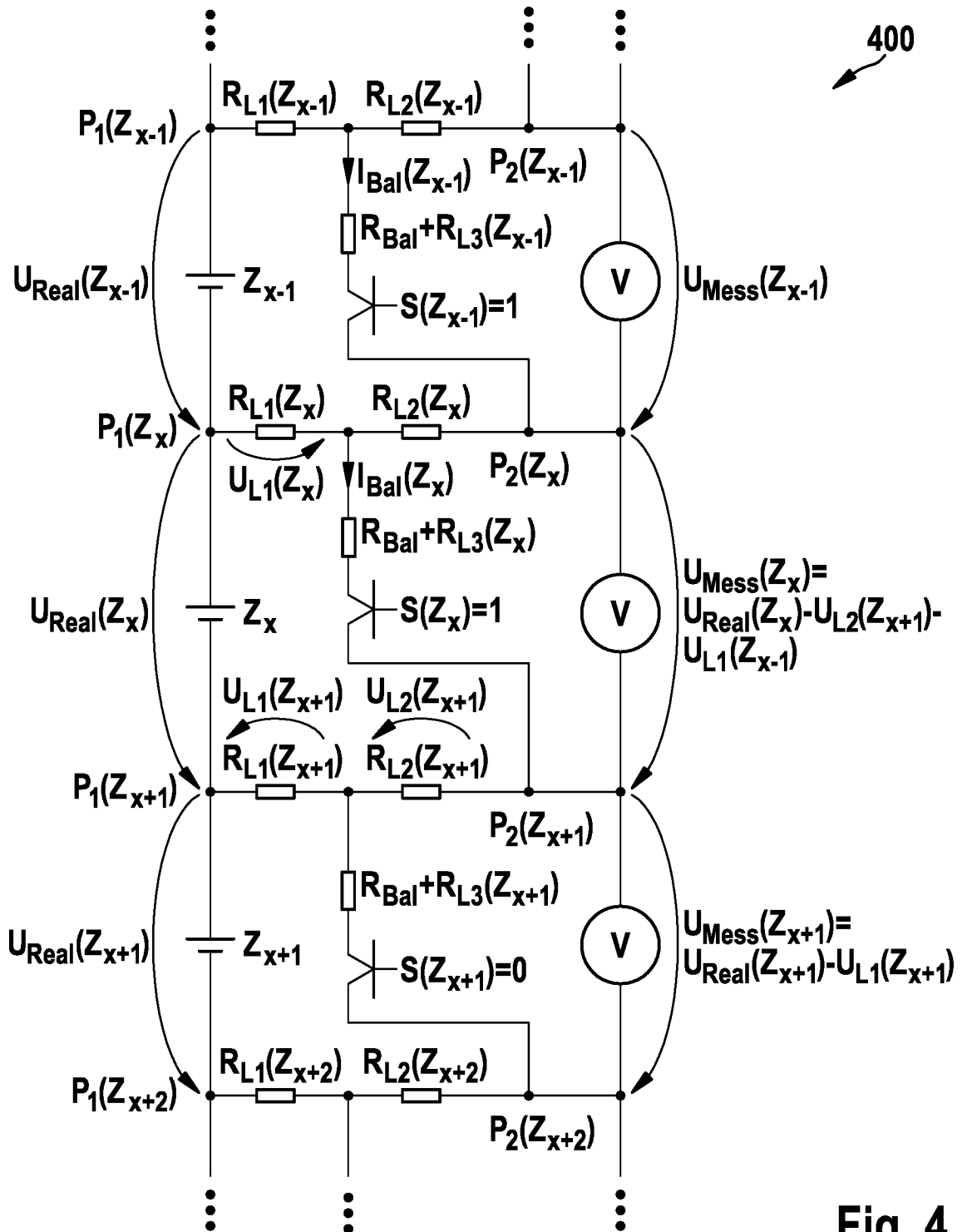


Fig. 4